

Louvain School of Management

Optimisation du transport intersites au sein de l'entreprise EpiCURA

Auteur : Alain Decamps

Promoteur : Jean-Sébastien Tancrez

Année académique 2020-2021

Master [120] en ingénieur de gestion

Résumé

Le domaine du secteur hospitalier est en perpétuel changement et ce depuis de nombreuses années. L'organisation des hôpitaux est constamment modifiée et revue pour s'adapter au budget disponible, à la demande de soins en constante augmentation ainsi qu'à l'évolution des différentes technologies.

Cet ouvrage s'articule autour de la résolution d'un problème de routage au sein d'un centre hospitalier dans la région du Hainaut.

Ce travail est divisé en trois parties distinctes. La première partie présentera une brève synthèse d'une portion de la littérature à propos des problèmes de routage. Plusieurs modèles seront étudiés et analysés comme le très connu problème du voyageur de commerce. Diverses déclinaisons et variantes seront-elles aussi étudiées. La compréhension de cette partie exclusivement théorique est essentielle pour la suite de ce travail.

Ce mémoire étant un mémoire projet, la seconde partie de cet ouvrage présentera d'abord de manière exhaustive l'entreprise choisie. Une attention plus particulière sera apportée au département logistique et au transport externe de choses puisque la problématique de ce mémoire concerne ce dernier service. Les modèles utilisés afin de proposer une résolution du cas pratique de l'entreprise seront expliqués en détail. A la suite de l'explication de ces modèles, la fin de cette partie sera dédiée à l'analyse des résultats obtenus en termes de kilomètres parcourus ainsi qu'en termes de temps de parcours minimum requis. Un des modèles pensé pour cette problématique se montrera plus efficace que les autres en proposant une diminution de nombre kilomètres parcourus allant de 12 à 17 % ainsi qu'en réduisant le temps de parcours minimum de 26 à 32 %. Il sera également capable de proposer une solution exacte pour un autre problème.

La troisième partie de ce mémoire concernera l'analyse managériale. Cette partie quantifiera les avantages pécunier à optimiser le transport externes de choses ainsi qu' à internaliser une partie des activités de transport sous-traitées par l'hôpital. Une hypothèse de centralisation sera également étudiée ainsi que deux autres possibilités d'internaliser une autre partie du transport. La fin de cette partie sera axée sur le futur de l'hôpital à court et long terme. Nous y verrons que l'activité du service transport n'est pas près de diminuer dans les prochaines années à venir.

Remerciements

Je voudrais d'abord remercier le centre hospitalier EpiCURA qui m'a accordé toute sa confiance durant ce stage. Je voudrais remercier plus particulièrement la cheffe du service transport, Ariane Mondo, pour sa bienveillance, son empathie et sa collaboration sans faille avec moi.

Ensuite j'aimerais remercier mon promoteur, le Professeur Jean-Sebastien Tancrez, pour sa disponibilité, son aide et ses précieux commentaires durant toute la durée du stage et de rédaction du mémoire.

Je tiens également à remercier Samed Baguirov qui a su me conseiller à de nombreuses reprises pendant mon stage.

Enfin, je tiens aussi à remercier Romina Fabiani pour son soutien permanent durant mon cursus universitaire.



Table des matières

INTRODUCTION	1
I LES PROBLÈMES DE ROUTAGE	2
1 LE VOYAGEUR DE COMMERCE.....	2
2 PROBLÈME DE TOURNÉES DE VÉHICULES	5
2.1 Variantes du problème de tournées de véhicules	7
3 PROBLÈME DE TOURNÉES DE VÉHICULES AVEC CAPACITÉ	8
3.1 Véhicules hétérogènes.....	9
4 PROBLÈME DE TOURNÉES DE VÉHICULES AVEC FENÊTRE DE TEMPS.....	9
5 PROBLÈME DE TOURNÉES DE VÉHICULES AVEC DÉPÔTS MULTIPLES	11
6 PROBLÈME DE TOURNÉES DE VÉHICULES PÉRIODIQUE.....	12
7 SYNTHÈSE.....	12
II ANALYSE DU CAS PRATIQUE	13
1 LE CENTRE HOSPITALIER EPICURA.....	13
1.1 Un plan pour le futur du centre hospitalier	15
1.2 Le réseau PHARE	16
2 LOGISTIQUE D'EPICURA	19
2.1 Le transport de personnes.....	20
2.2 Le transport de choses	20
3 DÉCOUVERTE DU CAS PRATIQUE	24
3.1 Présentation du problème	24
3.2 Caractéristiques et contraintes	24
3.3 Création des données.....	26
4 PRÉSENTATION DES MODÈLES D'OPTIMISATION	29
4.1 VRP (1)	29
4.2 VRP avec notion de véhicule (2).....	32
4.3 VRPTW (3).....	35
5 RÉSULTATS DES MODÈLES.....	39
5.1 Résultats obtenus	39
5.2 Quid si l'on déplace le dépôt	42
5.3 Optimisation des sites à visite unique	46
6 SYNTHÈSE.....	47
III ANALYSE MANAGÉRIALE	49
1 SOLUTION FINALE RETENUE	49

2	REPRISE D'ACTIVITÉS SOUS-TRAITÉES	51
3	ANALYSE DU COÛT DU TRANSPORT	52
	3.1 <i>Coût du sous-traitant</i>	53
4	COÛT DU TRANSPORT AVEC NOUVELLES TOURNÉES ET INTERNALISATION.....	54
	4.1 <i>Analyse du coût à la suite d'une centralisation</i>	56
5	AUTRES INTERNALISATIONS POSSIBLES	57
6	LE FUTUR DU SERVICE TRANSPORT	60
7	SYNTHÈSE.....	61
	CONCLUSION.....	63

RÉFÉRENCES

ANNEXES

Liste des figures

FIGURE 1 - SOLUTION D'UN PROBLÈME DE VOYAGEUR DE COMMERCE.....	4
FIGURE 2 - SOLUTION D'UN PROBLÈME DE TOURNÉES DE VÉHICULE (KARLOMEXICO, 2014)	6
FIGURE 3 - CLASSIFICATION DES VARIANTES DE VRP (CHABOT, 2015).....	7
FIGURE 4 - LA GENÈSE DU CENTRE HOSPITALIER EPICURA (EPICURA, 2021).....	14
FIGURE 5 - RÔLES DES TROIS SITES PRINCIPAUX (EPICURA, 2021)	16
FIGURE 6 - VISUALISATION DU RÉSEAU PHARE (EPICURA, 2019)	17
FIGURE 7 - ORGANIGRAMME DU DÉPARTEMENT LOGISTIQUE (EPICURA, 2021)	19
FIGURE 8 - MATRICE CARRÉE DES TRANSPORTS À EFFECTUER	28
FIGURE 9 - DÉTAIL DES TOURNÉES CRÉÉES	47
FIGURE 10 - NOUVELLES TOURNÉES POUR LE SERVICE TRANSPORT D'EPICURA.....	50
FIGURE 11 - TOURNÉE NAVETTE D'EPICURA.....	50
FIGURE 12 - DONNÉES DE LA FLOTTE DE VÉHICULES D'EPICURA	52
FIGURE 13 - COÛTS FIXES ET VARIABLES DES VÉHICULES D'EPICURA	53
FIGURE 14 - PROJECTION DES COÛTS DES VÉHICULES D'EPICURA EN 2021-2022.....	55
FIGURE 15 - COÛT DES VÉHICULES À LA SUITE D'UNE CENTRALISATION	56
FIGURE 16 - HORAIRE DE TRANSPORT DE LA NAVETTE ONCOLOGIQUE.....	57

Liste des graphiques

GRAPHIQUE 1 - EXPLOSION COMBINATOIRE D'UN ALGORITHME DU VOYAGEUR DE COMMERCE .	3
GRAPHIQUE 2 - NOMBRE DE KILOMÈTRES PARCOURUS PAR CHAQUE TOURNÉE.....	51
GRAPHIQUE 3 - COÛT TOTAL DU SERVICE TRANSPORT PAR AN.....	54
GRAPHIQUE 4 - COÛT TOTAL DU SERVICE TRANSPORT PAR AN AVEC CENTRALISATION	57
GRAPHIQUE 5 - COÛT DES NAVETTES ONCOLOGIQUES PAR MOIS ENTRE BAUDOUR ET HORNU .	58
GRAPHIQUE 6 - COÛT DES NAVETTES ONCOLOGIQUES PAR MOIS ENTRE BAUDOUR ET ATH	59

Liste des tableaux

TABLEAU 1 - DURÉE MOYENNE D'UN TEMPS D'ARRÊT SUR SITE AVEC OU SANS TEMPS DE MIDI	28
--	----

Introduction

L'environnement socio-économique du secteur hospitalier est en perpétuel changement et ce depuis de nombreuses années. L'organisation des hôpitaux est constamment modifiée et revue pour s'adapter au budget disponible ainsi qu'à la demande de soins, illimitée et en constante augmentation. La pandémie vécue récemment prouve que le secteur des soins de santé doit être prêt à vivre n'importe quelle situation. Le changement s'avère alors nécessaire pour combler les manquements qui persistent dans les hôpitaux.

Durant ce travail, nous allons essayer d'initier un début de changement dans le département logistique du centre hospitalier d'EpiCURA en travaillant sur les tournées de véhicules chargés d'acheminer le transport externe de choses.

Ce mémoire étant un mémoire projet, il sera divisé en trois parties. La première partie sera une synthèse de la littérature sur les problèmes de routage. Cette synthèse servira de contexte théorique et sera ensuite utilisée de manière approfondie durant la deuxième partie de ce travail. Nous étudierons plusieurs problèmes de routage dont le très connu voyageur de commerce ainsi que plusieurs de ses variantes.

La deuxième partie traitera du cas pratique de l'entreprise EpiCURA. Nous introduirons d'abord le fonctionnement du département logistique avant de décrire précisément le cas qu'il nous est demandé de résoudre. Après ces présentations, nous aborderons les trois modèles créés spécialement pour résoudre le cas de l'entreprise. Nous terminerons cette partie en analysant les résultats obtenus par ces modèles. Nous ne contenterons pas d'une seule solution, nous réitérerons nos calculs en changeant le dépôt de site et nous essaierons également d'offrir une solution à un problème qui n'est qu'hypothétique pour l'instant. Nous serons alors, grâce à ce dernier chapitre, capables de répondre entièrement à la problématique de ce mémoire.

La dernière partie est une partie managériale. Nous calculerons le coût du service transport pour l'année précédente ainsi que pour l'année suivante grâce à une projection de coût. Nous cumulerons les bénéfices des résultats obtenus dans la partie précédente avec l'internalisation d'une partie des activités de transport sous-traitées. Nous continuerons en émettant une projection de coût en prenant l'hypothèse d'une centralisation au sein de l'hôpital. Nous étudierons également deux autres possibilités d'internalisations.

Finalement, nous concluons ce mémoire-projet en évoquant l'avenir du service transport du centre hospitalier EpiCURA à court et long terme.

I Les problèmes de routage

Dans cette partie du mémoire, nous allons nous intéresser à différents modèles existants qui concernent les tournées de véhicule. Nous commencerons par un modèle simple, connu et très étudié dans la littérature qui servira de base pour les autres modèles que nous verrons, à savoir le voyageur de commerce. Puis nous continuerons en explicitant le problème de routage classique. Nous verrons plusieurs variantes de ce problème standard telles que le problème de routage avec capacité ou encore le problème de routage avec fenêtre de temps afin d'avoir un aperçu correct de la littérature existante à ce sujet. Pour chaque modèle dont nous parlerons, un algorithme de résolution exact sera joint à la description du problème.

1 Le voyageur de commerce

Ce type de problème est aussi appelé « Traveling Salesman Problem » en anglais (TSP). Ce problème est celui de base pour tout problème de routage. Son but est de trouver la longueur de la tournée la plus courte qui visite chaque ville donnée, et ce, avec un seul véhicule à disposition (Percus, 1997). L'objectif de ce problème est donc de réduire la distance totale parcourue par le voyageur de commerce durant sa tournée.

- 📖 Chaque ville est visitée une et une seule fois

- 📖 Le véhicule démarre dans une ville et finit sa tournée dans la ville où il a commencé

Même si ce problème est d'apparence simple, c'est un des problèmes les plus étudiés dans le domaine des mathématiques computationnelles. À ce jour, il n'existe toujours pas d'algorithme permettant de trouver une solution exacte pour les problèmes de grande taille (Applegate et al., 2011).

Les algorithmes sont classés en fonction de leur complexité. Il existe plusieurs classes dont la classe P, NP, NP-complet et NP-difficile (Caspard et al., 2007).

- 📖 La classe P est l'ensemble des problèmes de décision pour lesquels on peut déterminer par un algorithme polynomial si la réponse est « oui » ou « non ».

- 📖 La classe NP est l'ensemble des problèmes de décision pour lesquels on peut vérifier par un algorithme polynomial appliqué à un « certificat succinct » (c.-à-d. un certificat de taille polynomiale par rapport à la taille de l'instance) que la réponse est « oui » si et seulement si l'instance est positive.

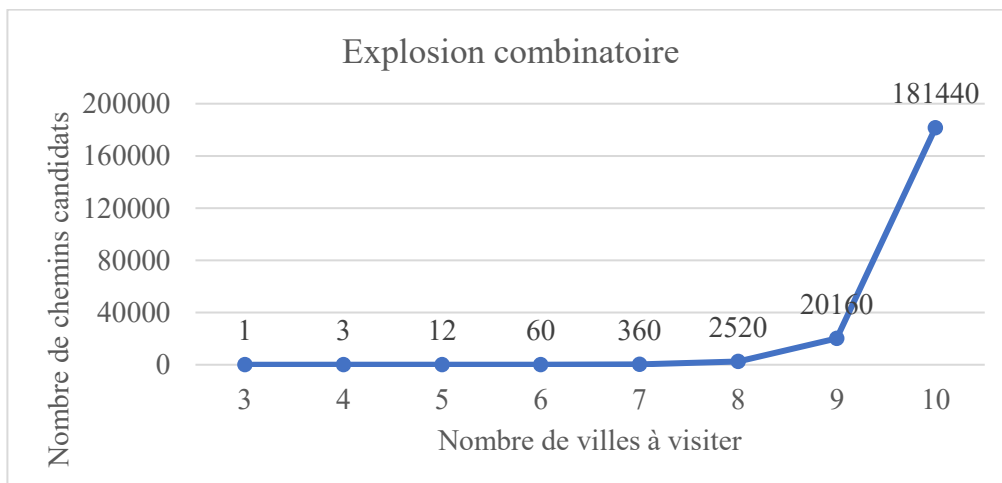
- 📖 Un problème de décision est dit NP-complet s'il est dans la classe NP et s'il est au moins aussi difficile que tout problème de la classe NP.

Les problèmes NP sont donc des problèmes qui peuvent être simplement vérifiés en temps polynomial alors que générer l'ensemble des cycles est exponentiel. Les problèmes NP-complet ne savent pour le moment pas être résolus en temps polynomial (Cantanzaro, 2018).

Les algorithmes qui résolvent des problèmes NP-complet ont un temps d'exécution exponentiel en fonction de la taille des données d'entrée dans le pire des cas et sont donc presque impossibles à résoudre même pour des instances d'une taille plus modérée (Sayadi, 2019).

Dans ce cas-ci, le problème du voyageur de commerce appartient à la classe des problèmes NP-Complet.

En effet, s'il y a 3 villes à visiter, il n'y a qu'un seul chemin candidat. Cependant, si 7 villes sont à visiter alors il y a 360 chemins candidats possibles. Le graphique 1 montre l'explosion combinatoire des solutions possibles de l'algorithme de voyageur de commerce.



Graphique 1 - Explosion combinatoire d'un algorithme du voyageur de commerce

La figure 1 montre un exemple de solution d'une instance du voyageur de commerce. On pourrait penser que pour trouver le trajet optimal, il suffit de prendre les trajets qui forment les côtés du carré, mais ce n'est pas le cas. En effet, le trajet optimal commence avec le point A pour se rendre au point C, du point C l'algorithme choisit le point B et puis relie le point D. Du point D il revient ensuite au point A qui est le point de départ. Si nous additionnons la distance totale parcourue, nous obtenons 11 km et cette solution (ACBDA) est optimale, c'est-à-dire qu'aucune autre solution ne permet d'obtenir un total des kilomètres parcourus plus faible. La solution ABDCA ferait quant à elle parcourir un total de 18 km.

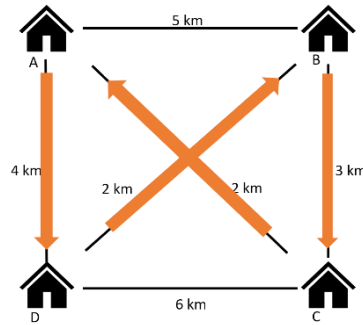


Figure 1 - Solution d'un problème de voyageur de commerce

Nous pouvons formuler ce problème de façon mathématique assez simplement. Dans cette formulation, nous décrirons ce problème par un ensemble de variables et de contraintes appliquées à ces variables. Nous utiliserons une variable $x_{i,j}$. Cette variable vaudra 1 si l'algorithme choisit la route qui va de la ville i à la ville j , 0 sinon. Chaque route possible est associée à un coût qui lui est propre et que nous noterons $C_{i,j}$. Nous noterons également l'ensemble V dont i, j appartiennent. Notons que cet algorithme s'applique dans le cas où la route i, j qui relie deux villes n'a pas forcément la même distance dans le sens i , ou dans le sens j, i , la route peut donc être asymétrique.

$$\min \sum_{i \neq j} C_{i,j} * x_{i,j} \quad (1)$$

S. t.

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in V, i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \forall j \in V, i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{i,j} \leq |S| - 1 \quad (S \subset V, 2 \leq |S| \leq V - 2) \quad (4)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in A \quad (5)$$

La fonction écrite en (1) nous permet de minimiser le nombre total de kilomètres parcourus par le voyageur de commerce. La contrainte (2) et (3) indiquent que pour chaque ville, une route doit entrer dans cette ville et une autre route doit permettre de quitter cette ville. La contrainte (4) permet l'élimination des sous-tours. La contrainte (5) impose que les variables soient binaires. Ce modèle est inspiré de Laporte (2010) qui fait un état de l'art de différents algorithmes exacts connus pour résoudre ce type de problèmes.





Maintenant que nous avons introduit le problème le plus simple de routage, nous allons pouvoir à présent passer à des modèles quelque peu plus complexes et possédant quelques spécificités.

2 Problème de tournées de véhicules

Ce type de problème est aussi appelé « Vehicle Routing Problem » en anglais (VRP). C'est un des problèmes combinatoires les plus étudiés. Il s'intéresse à la conception optimale des itinéraires à emprunter par une flotte de véhicules pour desservir un ensemble de clients. Chaque véhicule démarre d'un même endroit qui est communément appelé dépôt et doit revenir à cet endroit à la fin de la tournée (Golden et al., 2008).

L'objectif du problème de tournées de véhicules classique est de trouver un ensemble de routes à emprunter au coût minimum (Liu & Jiang, 2012). Rachid et al expliquent en 2008 que le problème de tournées de véhicules peut être vu comme une généralisation du problème de voyageur de commerce. Celui-ci fait également partie de la classe des problèmes NP-complet.

Une configuration valide des routes de chaque véhicule doit respecter les conditions suivantes :

-  tous les clients de l'instance sont desservis,
-  chaque véhicule part du dépôt, visite un ou plusieurs clients et ensuite revient au dépôt,
-  chaque client est desservi par un et un seul véhicule,
-  un véhicule ne visite jamais deux fois le même client.

Ce type de problème est très utilisé dans les entreprises qui doivent transporter des biens de manières régulières et qui souhaitent réduire leurs coûts. Les sociétés de transport utilisent ce type d'algorithme. Les entreprises alimentaires l'utilisent également pour livrer leurs marchandises des entrepôts aux magasins, les sociétés de messageries l'utilisent aussi afin de livrer leurs clients... Commençons à formuler de manière mathématique ce type de problème.

Nous avons d'abord un **nœud** qui peut soit être un client ou alors qui peut être un dépôt. Nous associerons chaque nœud à un indice. L'indice 0 sera utilisé pour le dépôt et les indices de 1 à n seront utilisés pour les clients.

Ensuite nous aurons une **arête**, celle-ci représentera une section de route qui relie deux nœuds, nous noterons (i, j) une arête entre les nœuds d'indices i et j . Chaque arête possédera également un **coût** qui lui sera propre. Plus le coût d'une arête sera élevé, plus il sera coûteux d'emprunter cette route pour rejoindre un autre nœud. Le coût d'une arête sera noté $C_{i,j}$. Le coût peut être défini comme le temps nécessaire pour rejoindre deux nœuds, la distance qui sépare deux nœuds, ou n'importe quelle autre quantité tant qu'elle est définie entre chaque paire de nœuds du problème.

Notons l'ensemble M dont k appartient le nombre de véhicules à utiliser dans ce problème et V l'ensemble dont i, j appartiennent qui représente le nombre de villes à visiter (Baudoux, 2018).

$$\min \sum_{i,j} C_{i,j} * \sum_{k=1} x_{ijk} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{i,k} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \setminus 0 \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ipk} - \sum_j x_{pjk} = 0 \quad \forall k \in M, p \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j=1} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in M \quad (4)$$

$$y_i - y_j + N * \sum_k x_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i, j \in V, i \neq j \quad (5)$$

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, k \in M \quad (6)$$

$$y_i \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in V \quad (7)$$

L'équation (1) est une fonction qui cherche à minimiser le coût total des routes choisies par l'algorithme. La contrainte (2) indique que chaque client doit être visité exactement une fois au maximum. La contrainte (3) est une contrainte de conservation des flux. Si un véhicule visite un client, il doit également partir de ce client. Par conséquent, s'il quitte le dépôt, il a l'obligation d'y revenir. La contrainte (4) indique qu'un véhicule doit être utilisé au maximum une seule fois. La contrainte (5) est la contrainte d'élimination des sous-tours qui est dérivée du problème de voyageur de commerce de Miller et al., (1960). Cette contrainte force également chaque route à passer par le dépôt. La contrainte (6) indique que la variable x est binaire et la contrainte (7) indique que la variable y appartient au champ des entiers positifs. Ce modèle a été créé par Christofides et al., (1981).

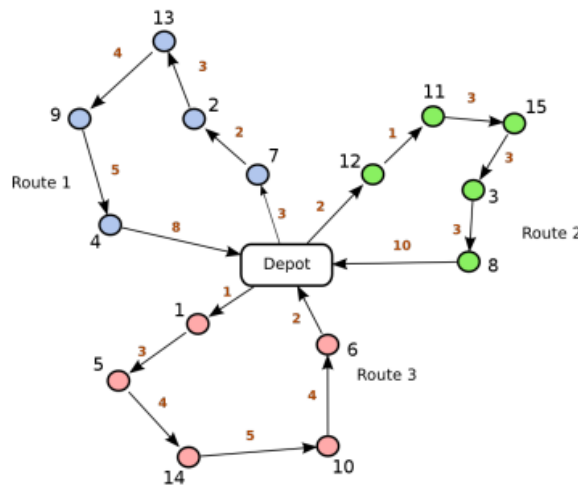


Figure 2 - Solution d'un problème de tournées de véhicule (karlomexico, 2014)

La figure 2 ci-dessus est un exemple de solution obtenue à un problème de tournées de véhicules, nous pouvons aisément voir que trois routes ont été créées. Chaque route est représentée par une couleur différente. Par exemple, la route 1 part du dépôt pour se rendre au point 7, 2, 13, 9, 4 puis revient au dépôt. Le coût total se calcule en additionnant le poids des arêtes des trois routes, il est ici de 66.

2.1 Variantes du problème de tournées de véhicules

La formulation vue dans la section 2. est la formulation de base pour ce type de problème, il existe aujourd'hui une multitude de variantes existantes grâce à l'intérêt croissant des chercheurs pour la logistique (Rachid et al., 2008). Une variante très connue de ce problème est le CVRP, c'est l'acronyme de « Capacitated Vehicle Routing Problem » qui veut dire en français problème de tournées de véhicules avec capacité. Le problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps est également très connu et très étudié dans la littérature. Son but est de servir un nombre de clients qui possèdent chacun une fenêtre de temps précise pour la livraison tout en essayant de réduire au maximum les coûts de livraison (Kumar & Panneerselvam, 2012).

La figure 3 classifie les principales variantes des problèmes de tournées de véhicule. Les différentes variantes ne sont pas limitantes et ne doivent pas être utilisées toutes seules, mais peuvent se combiner entre elles. Certes, cela complexifie le problème, mais cela apporte à chaque fois des modèles mathématiques différents qui peuvent répondre à certains besoins.

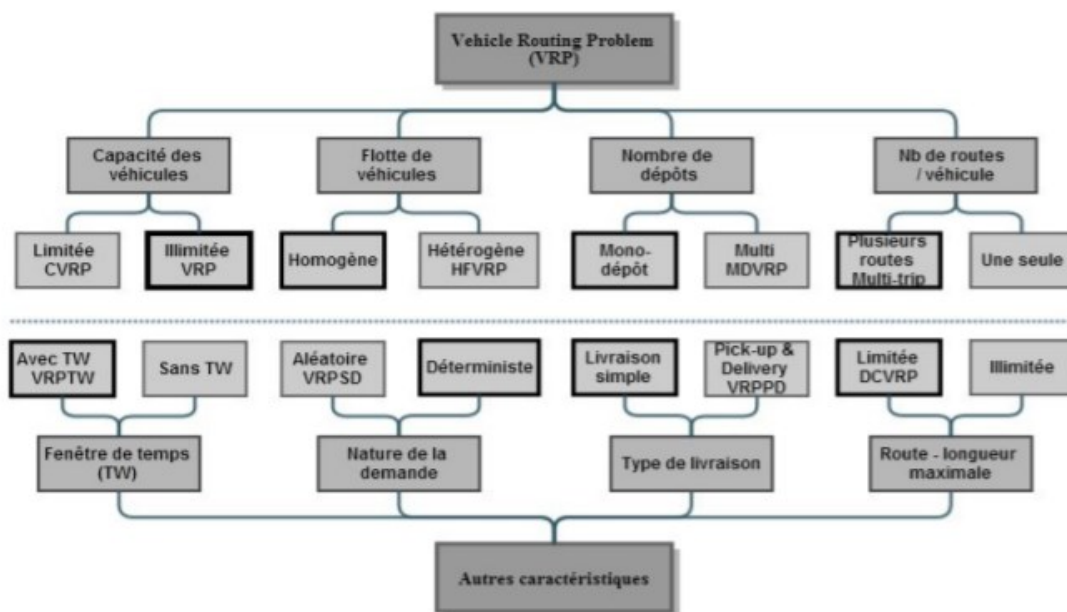


Figure 3 - Classification des variantes de VRP (Chabot, 2015)

3 Problème de tournées de véhicules avec capacité

Cette variante est appelée en anglais « Capacitated Vehicle Routing Problem » (CVRP). Ce type de problème prend en compte la capacité de charge des véhicules qui constituent la flotte. Les véhicules ont donc une capacité maximale à ne pas dépasser. Le problème prend également en compte les quantités demandées par les clients. Il existe de nombreuses recherches sur ce type de problèmes, dont celles de Baldacci et al. en 2012, et celles de Ralphs et al., (2003) qui traitent d'algorithmes récents et exacts pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules sous contraintes de capacité et de temps. Szeto et al., (2011) proposent une heuristique de colonies d'abeilles artificielles pour résoudre le problème du routage de véhicules avec capacité. L'heuristique de la colonie d'abeilles est basée sur un essaim, qui imite le comportement de recherche de nourriture d'un essaim d'abeilles.

Nous allons maintenant voir une formulation mathématique exacte pour ce type d'algorithme.

$$\min \sum_{i,j} C_{i,j} * \sum_{k=1} x_{ijk} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{i,k} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \setminus 0 \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ipk} - \sum_j x_{pjk} = 0 \quad \forall k \in M, p \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i=1} (Q_i \sum_{j=0} x_{ijk}) \leq CapTot \quad \forall k \in M \quad (4)$$

$$\sum_{i,j} C_{i,j} * x_{ijk} + \sum_{i=1} (U_i \sum_{j=0} x_{ijk}) \leq T \quad \forall k \in M \quad (5)$$

$$\sum_{j=1} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in M \quad (6)$$

$$y_i - y_j + N * \sum_k x_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i, j \in V, i \neq j \quad (7)$$

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, k \in M \quad (8)$$

$$y_i \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in V \quad (9)$$

L'équation (1) est une fonction qui cherche à minimiser le coût total des routes choisies par l'algorithme. La contrainte (2) indique que chaque client doit être visité exactement une fois au maximum. La contrainte (3) est une contrainte de conservation des flux. Si un véhicule visite un client, il doit également partir de ce client. Par conséquent, s'il quitte le dépôt, il a

l'obligation d'y revenir. La contrainte (4) est la contrainte de capacité du modèle, elle indique que l'on ne peut pas dépasser la capacité totale du véhicule pour chaque route. Q_i est la quantité qui doit être délivrée sur chaque site i . La contrainte (5) est une contrainte qui indique que sur chaque route, le coût ne peut pas dépasser un seuil maximal T . U_i représente ici un coût requis par un véhicule pour décharger la quantité Q_i au site i . Le « coût » de cette contrainte peut par exemple s'exprimer en temps de trajets ou distances parcourues. La contrainte (6) indique qu'un véhicule doit être utilisé au maximum une seule fois. La contrainte (7) est la contrainte d'élimination des sous-tours. Cette contrainte force également chaque route à passer par le dépôt. La contrainte (8) indique que la variable x est binaire et la contrainte (9) indique que la variable y appartient au champ des entiers positifs. Ce modèle a été créé par Christofides et al., (1981).

3.1 Véhicules hétérogènes

Cette variante est aussi appelée en anglais « Heterogeneous (fleet) Vehicle Routing Problem » (HVRP). Elle considère que les véhicules qui effectuent les tournées n'ont pas forcément tous les mêmes caractéristiques. Les coûts fixes et variables peuvent être différents, la capacité peut également être différente en fonction des véhicules à disposition. Des contraintes de temps spécifiques à certains véhicules peuvent apparaître.

La littérature propose plusieurs résolutions de ce type de problème. Choi & Tcha, (2007) proposent une approche basée sur la génération de colonnes. Gendreau, Laporte, Musaraganyi, & Taillard, (1999) proposent quant à eux une résolution de ce problème via une recherche tabou qui propose des résolutions d'instances entre 50 et 100 villes. Enfin, Subramanian, Penna, Uchoa, & Ochi, (2012) proposent un algorithme hybride pour résoudre ce problème. Cet algorithme a été testé avec des instances jusqu'à 360 clients et a amélioré 8 solutions existantes.

4 Problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps

Cette variante est aussi appelée en anglais « Vehicle Routing Problem With Time Windows » (VRPTW). Elle indique que chaque client doit être desservi dans une plage horaire qui est définie à la base. Les véhicules peuvent arriver à l'avance et devront alors patienter, mais ils ne peuvent pas arriver en retard. S'ils arrivent en retard, alors la contrainte de fenêtre de temps est violée et la solution est soit considérée comme invalide, soit un coût supplémentaire est rajouté. Cette variante est plus contraignante qu'un problème de tournées de véhicules classique et la résolution exacte de ce type de problèmes est bien plus longue et fastidieuse, quand elle est

possible. Cependant elle est utilisée très régulièrement étant donné ses nombreuses applications possibles en cas réel (Azi, 2010).

Plusieurs méthodes de résolution de ce problème existent. La première méthode est le branch-and-price. C'est un algorithme exact qui traite d'un problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps et plusieurs usages du véhicule en une journée, il est proposé par Azi, Gendreau, & Potvin, (2010). Une seconde méthode utilisant la recherche locale est proposée par Li & Lim, (2003). Les algorithmes génétiques sont également utilisés pour approcher une solution comme le montre Louis, Yin, & Yuan, (1999). Une méthode exacte de résolution que nous allons découvrir vient de Chabrier, (2006).

Dans ce problème, sont présents K véhicules qui ont chacun une capacité C_k . Les véhicules se trouvent tous au dépôt pour commencer. Un nombre N de nœuds doit être visité. i est un nœud qui fait partie de l'ensemble des nœuds N qui doivent être visités. À chaque nœud i , une quantité Q_i doit être délivrée. L'ensemble de la quantité doit être livrée dans une fenêtre de temps bien précise définie par $[A_i, B_i]$. A est un ensemble d'arcs entre les $N + 1$ sites et D est un paramètre qui définit la distance entre chaque arc (i, j) appartenant à A , il permet aussi de mesurer le temps. Chaque route doit également commencer au nœud 0 et finir au $N + 1$ qui représente le dépôt. Cette résolution contient la variable :

- x_{ijk} qui vaut 1 si le véhicule k utilise l'arc i, j , 0 sinon
- s_{ik} qui indique l'heure à laquelle le véhicule k atteint le nœud i .

$$\min \sum_{k=1} \sum_{(i,j) \in A} D_{i,j} * x_{ijk} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(N+1)} x_{i,N+1,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S, j \neq i} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall k \in K, S \subset X, 1 < |S| < N \quad (5)$$

$$\sum_k \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$\sum_{i=1} Q_i \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} \leq C_k \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$s_{ik} + D_{i,j} - K * (1 - x_{ijk}) \leq s_{jk} \quad \forall i, j \in A, k \in K \quad (8)$$

$$A_i \leq s_{ik} \leq B_i \quad \forall i \in N, k \in K \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in A, k \in K \quad (10)$$

$$s_{ik} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in A, k \in K \quad (11)$$

La notation $\delta^+(0)$ que l'on peut retrouver dans le modèle ci-dessus représente l'ensemble des arcs qui partent de 0. $\delta^-(0)$ représente l'ensemble des arcs entrant dans 0. Par exemple, $\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ijk}$ signifie que l'on effectue la somme des i qui entrent au point j (Fortz & Thorup, 2003).

La fonction (1) essaie de minimiser la distance totale parcourue par les différents véhicules pour délivrer les quantités nécessaires à tous les sites. Les contraintes (2) à (4) définissent le flux des véhicules k . Ces contraintes indiquent que chaque véhicule doit sortir du dépôt et y retourner en fin de tournées et que si un véhicule visite un site, ce même véhicule doit quitter ce site afin de préserver l'équilibre des flux. La contrainte (5) veille à éliminer les possibles sous-tours. La contrainte (6) s'assure que chaque nœud ne soit visité que par un véhicule au maximum. La contrainte (7) s'assure que la capacité des véhicules soit respectée. La contrainte (8) et (9) définissent les fenêtres de temps. Enfin (10) indique que la variable est binaire et (11) que la variable est entière.

5 Problème de tournées de véhicules avec dépôts multiples

Cette variante est aussi appelée en anglais « Multiple Depot Vehicle Routing Problem » (MDVRP). Dans ce problème, plusieurs dépôts peuvent servir de station de départ et d'arrivée des véhicules. Deux sous-variantes sont régulièrement étudiées, celle où les véhicules peuvent partir d'un dépôt et arriver dans un autre dépôt et celle où les véhicules partent et reviennent dans le même dépôt. Cette variante est relativement bien étudiée étant donné que dans la réalité, une entreprise possède régulièrement plusieurs dépôts d'où peuvent partir leurs véhicules. Plusieurs méthodes sont utilisées pour essayer de solutionner ce problème.

Une recherche tabou est proposée par Cordeau, Gendreau, & Laporte, (1997). Celle-ci est capable de résoudre trois problèmes de routage bien connus. Le problème de tournées de véhicules périodique, le problème de voyageur de commerce ainsi que le problème de tournées de véhicules avec plusieurs dépôts.

Un algorithme hybride génétique a également été mis en place par Ho et al., (2008).

Mingozzi propose quant à lui en 2005 une méthode de résolution exacte qui est basée sur la programmation entière.

6 Problème de tournées de véhicules périodique

Cette variante est également appelée « Period Vehicle Routing Problem » (PVRP) en anglais. Ce type de problème désigne un ensemble de routes pour une flotte homogène de véhicules qui se situent à un dépôt central chaque jour d'une période p donnée. Comme dans chaque problème, tous les véhicules commencent et finissent au dépôt. Chaque client i doit être visité les f_i jours durant la période. Les f_i visites du client i ne peuvent seulement se produire que dans une combinaison de jours parmi un nombre donné de combinaisons autorisées. Par exemple, un client peut exiger d'être visité deux fois au cours d'une période de cinq jours, et vouloir ses visites le lundi-mardi ou jeudi-vendredi. Une solution trouvée par un algorithme doit respecter toutes ces contraintes et minimiser le coût total des routes utilisées durant toute la période (Baldacci, Bartolini, Mingozzi, & Valletta, 2011).

Nous pouvons trouver dans le livre de Francis, Smilowitz, & Tzur, (2008) un recueil de plusieurs méthodes qui essaie de résoudre ce type de problème de routage ainsi que quelques heuristiques et métaheuristiques. Il existe également une résolution via un algorithme de colonies de fourmis. Ce problème prend en compte une période de plusieurs jours et des fenêtres de temps spécifiés. Les résultats obtenus semblent montrer que ce type d'algorithmes semble fonctionner correctement pour le PVRP (Yu & Yang, 2011).

7 Synthèse

Ce chapitre nous a permis d'en apprendre un petit peu plus concernant les problèmes de tournées de véhicules classiques et un peu plus complexe comme les quelques variantes que nous avons découvertes. Notons que toutes ces variantes peuvent être combinées entre elles si cela est nécessaire. Ce chapitre a donc eu comme rôle de poser les bases du problème de routage pour mieux comprendre le fonctionnement de celui-ci, car la suite de ce mémoire-projet s'articulera autour cette thématique afin de résoudre un cas pratique. La connaissance de ces différents algorithmes nous permettra d'optimiser plus aisément et efficacement les trajets effectués par les différents véhicules qui constituent la flotte du service transport du centre hospitalier d'EpiCURA.

II Analyse du cas pratique

Cette deuxième partie sera totalement axée sur l'analyse et la résolution de la problématique de l'entreprise EpiCURA. Nous allons d'abord présenter cette dernière avant de nous concentrer sur le département logistique et plus particulièrement le transport externe de choses.




Ensuite, nous passerons à l'élaboration des modèles qui serviront à la résolution de la problématique, nous les présenterons de façon détaillée afin de bien les comprendre.

Nous terminerons cette partie par analyser les résultats obtenus. Cette analyse se fera via deux prismes distincts, celui des kilomètres parcourus et celui du temps de parcours minimum requis. Nous changerons également le dépôt de site pour constater si cela permet d'obtenir de meilleurs résultats et nous essaierons de résoudre un dernier problème annexe avec un des modèles élaborés plus tôt par nos soins.



1 Le centre hospitalier EpiCURA

Le travail réalisé dans ce mémoire-projet porte sur l'entreprise EpiCURA qui est un réseau hospitalier basé dans la région du Borinage, plus précisément dans le département logistique et transport.

EpiCURA est le nom actuel, mais la route pour arriver à cette nouvelle identité a été longue et jalonnée de défi à relever. À l'origine de ce centre hospitalier, une fusion entre le RHMS et le CHHF. Le RHMS est le Réseau Hospitalier de Médecine Sociale, il est fondé en 1998 à la suite de la fusion de :

-  la Clinique Louis Caty de Baudour
-  l'Institut Médico-Chirurgical de Tournai (IMC)
-  l'Association Médico-Hospitalière du Hainaut Occidental (AMHHO).

En 1999, l'hôpital de la madeleine à Ath et la clinique de Belœil s'ajoutent au projet. En 2009, L'IMC de Tournai et la clinique de Péruwelz quittent le RHMS pour s'intégrer dans le nouveau Centre Hospitalier de Wallonie Picarde (CHwapi). Les origines du Centre Hospitalier Hornu-Frameries sont les suivantes :

-  1979 : le Centre Hospitalier du Grand-Hornu voit le jour
-  1998 : le centre Hospitalier du Grand-Hornu et la clinique Notre-Dame de Frameries fusionnent pour former le CHHF.

Le réseau hospitalier d'EpiCURA a quant à lui mis 4 années pour se construire. D'abord par une lettre d'intention en 2008, suivi d'un projet médical en 2010 et d'un accord constitutionnel et médical en 2011. Un vote d'adhésion a été soumis au corps médical et les résultats sont revenus positifs de 75 à 98 % selon les sites. En 2012, une nouvelle structure voit le jour, EpiCURA devient une A.S.B.L. et reprend la gestion des patrimoines et des numéros d'agrément hospitalier du CHHF et du RHMS Ath-Beloeil, Baudour et Hornu. Ensuite, les instances de gestion sont instituées et enfin, le management unique est en place et travaille.

Le projet EpiCURA trouve sa source dans la politique de bassins de soins lancée en 2006 par Rudy Demotte pour rationaliser l'offre hospitalière. Les hyperconcurrences entre hôpitaux d'une même région y étaient mises en évidence. Cette nouvelle politique de soins incite à la collaboration pour offrir à la population les programmes de soins les plus complets possible.

EpiCURA est donc le résultat de plusieurs fusions et regroupements qui ont débuté en 1979 jusqu'à la fusion en 2012 du RHMS et CHHF, réunissant 3 agréments : Baudour, Hornu-Frameries et Ath-Beloeil. EpiCURA se définit comme un groupe hospitalier multisites, accessible et pluraliste, dispensant une large gamme de soins spécialisés répondant aux besoins de la population des bassins de vie de Mons-Borinage et d'Ath. La figure 4 reprend la genèse du centre hospitalier d'une façon plus visuelle.

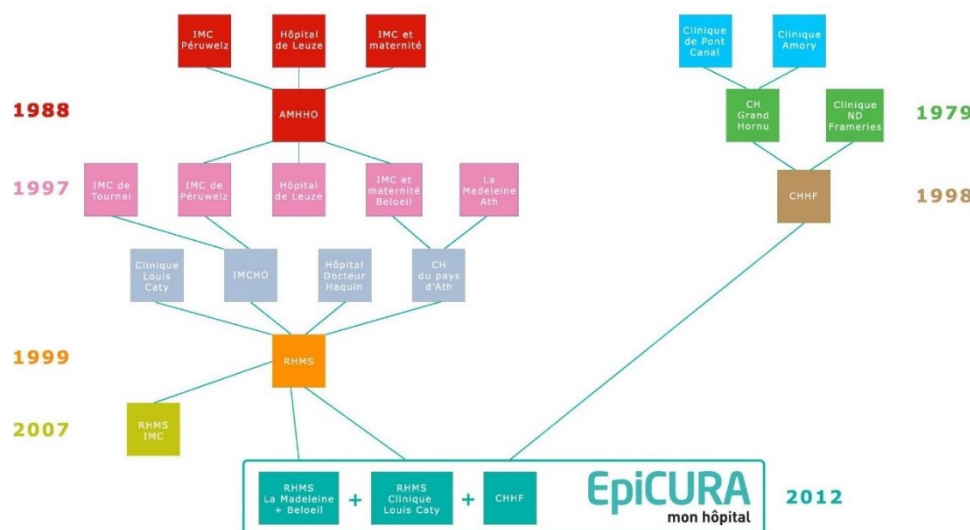


Figure 4 - La genèse du Centre Hospitalier EpiCURA (EpiCURA, 2021)

Aujourd'hui, le centre hospitalier compte 3 sites aigus : Ath, Baudour et Hornu. Il compte également un site de revalidation et d'hospitalisation qui est Belœil. Deux polycliniques font partie de ce réseau, ce sont les polycliniques de Dour et de Frameries. Enfin, EpiCURA compte un centre spécialisé en dialyse à Enghien. Un centre administratif a également vu le jour, non loin du site d'Hornu, Epicenter.

Sur l'ensemble des sites, le centre hospitalier dénombre un total de 806 lits. Plus précisément, 237 lits sur le site d'Ath, 237 lits sur le site de Baudour et 332 lits sur le site d'Hornu. En quelques chiffres, 2700 personnes sont employées, ce qui équivaut à 1970 ETP et 560 indépendants travaillent sur les différents sites, ce qui en fait le 4^e employeur du Hainaut hors administrations. Le chiffre d'affaires de l'entreprise est de plus de 292 millions d'euros avec un bénéfice net de 4 300 000 euros (Centrale des bilans, 2019).

On dénombre 70 000 passages aux urgences, 25 000 admissions pour un séjour à l'hôpital, 13 500 hospitalisations de jour et 2350 sorties SMUR (Service Mobile d'Urgence et de Réanimation). En outre, près de 400 000 consultations sont réalisées sur tous les sites, ce qui représente un peu plus de 1000 consultations par jour. Environ 1700 naissances sont comptabilisées par an pour presque autant de décès.

1.1 Un plan pour le futur du centre hospitalier

EpiCURA ayant eu 5 ans en 2017, le centre hospitalier désire se projeter dans l'avenir et établir un horizon clair jusque 2030. Le plan « Crescendo » vise une modernisation des infrastructures du site au bénéfice du patient. Ce plan veut renforcer la complémentarité de ses trois sites hospitaliers avec Ath qui va devenir un hôpital général aigu.

Un établissement de soins aigus est dans ce cas-ci un hôpital qui dispense des soins requis lors de la phase aiguë de la maladie. L'hôpital va donc offrir des services de diagnostics et de soins médicaux généraux et spécialisés. Les unités de médecine et de chirurgie peuvent donc être considérées comme des unités de soins aigus. Un hôpital aigu est donc destiné à des séjours plutôt courts et qui ne demandent pas un traitement de longue durée. Les soins aigus s'opposent aux soins critiques, palliatifs et psychiatriques (Charette, 2018).

Hornu est lui aussi considéré comme un hôpital aigu de référence et Baudour est considéré comme un hôpital chronique. Une maladie chronique est la « présence d'un état pathologique de nature physique, psychologique, ou cognitive, appelé à durer [...] un retentissement sur la vie quotidienne [...] une dépendance, vis-à-vis d'une technologie médicale... » (Briançon et al., 2010). Ce type d'hôpital est donc soumis à des hospitalisations de plus longue durée pour des patients qui nécessitent des traitements réguliers tels que la gériatrie ou d'autres revalidations (Service Public Fédéral, 2020).

Baudour est également hôpital ambulatoire, c'est-à-dire un hôpital où le patient reçoit des soins qui nécessitent une prise en charge médicale sans hospitalisation nécessaire ou alors une

hospitalisation d'une durée de quelques heures maximum (« Soins ambulatoires », 2020). La figure 5 montre le rôle de chacun des hôpitaux appartenant à EpiCURA.

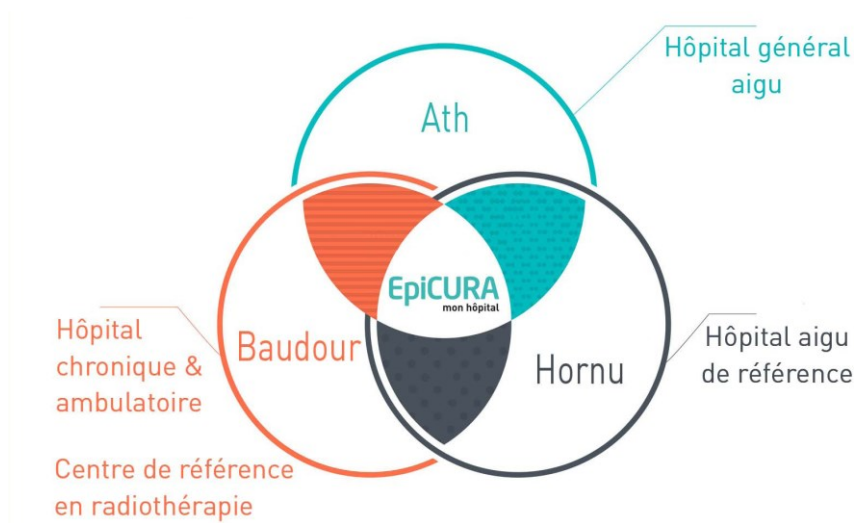


Figure 5 - Rôles des trois sites principaux (EpiCURA, 2021)

L'investissement pour financer le programme Crescendo est de 162 millions pour la période 2019-2023. Cet investissement prévoit par exemple la création d'unités de soins de taille réduite, il anticipe également une croissance de la population gériatrique dans la région de Mons-Borinage. Des projets déjà réalisés sont par exemple un nouveau pôle cardiologique sur le site d'Hornu ou encore les nouvelles urgences, également à Hornu. Des projets engagés et prévus sont par exemple la rénovation du quartier opératoire à Baudour, une nouvelle extension sur le site d'Hornu ou encore le reconditionnement des unités de soins à Ath.

1.2 Le réseau PHARE

EpiCURA fait également partie d'un réseau hospitalier plus large qui se dénomme le réseau PHARE. Celui-ci a été lancé le 20 décembre 2018. Le 25 avril 2019, un protocole d'accord entre EpiCURA, CHwapi et le CHR Haute Senne a été signé pour officialiser cet accord. Ce réseau consiste en une collaboration inter hospitalière locorégionale qui a débuté sous l'impulsion de la réforme souhaitée par la ministre fédérale de la santé.

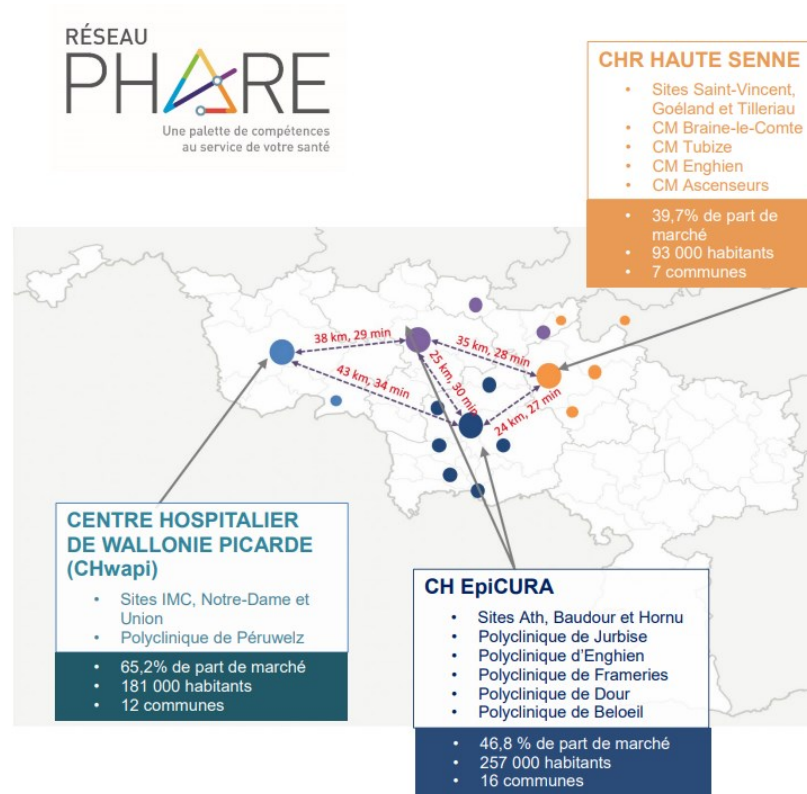


Figure 6 - Visualisation du réseau PHARE (EpiCURA, 2019)

Concrètement, les partenaires s'engagent à coordonner ensemble leurs activités hospitalières dans leur bassin de soins composé de 31 communes et qui totalise 531 000 habitants. Comme le montre la figure 6, dans cet espace où les temps de déplacement entre les sites hospitaliers sont de 30 minutes maximum, le Réseau PHARE est largement majoritaire. Son positionnement et son potentiel de développement en font un acteur incontournable dont le projet médical commun répondra aux besoins de Santé Publique de sa population. Ce réseau s'inscrit dans une dynamique collaborative ainsi que dans un partenariat stable et durable. Les partenaires ont défini un mode de gouvernance établissant des règles décisionnelles claires et respectueuses. Un modèle qui est adaptable afin de permettre l'ouverture éventuelle à de nouveaux opérateurs et partenaires. En quelques chiffres, le réseau PHARE est constitué de :

- 🏥 3 centres hospitaliers comprenant 9 sites au total.
- 🏥 10 centres médicaux
- 🏥 1807 lits au total

Par an, ces 3 centres hospitaliers effectuent 840 000 consultations, 143 000 urgences et 53 000 hospitalisations classiques. 7200 professionnels de la santé sont employés dans ces 3 centres.

En deux ans, les premières concrétisations sont déjà visibles. Dans le domaine médical, la création d'un pôle d'excellence a déjà vu le jour. Le matériel lourd tel que des machines de RMN (résonance magnétique nucléaire), de radiothérapie, des Pets-scan est dorénavant exploité de manière commune dans le but de rationaliser les acquisitions de matériel lourd. De la même manière, le dossier patient informatisé est maintenant commun aux trois hôpitaux ce qui permet une meilleure collaboration. Les logiciels sont harmonisés, par exemple un logiciel de paie commun. Au niveau des Ressources Humaines, des formations communes seront mises en place, les recrutements seront partagés. Au niveau des achats, la constitution d'une centrale de marché a vu le jour et les premiers marchés passés en commun ont été effectués.

2 Logistique d'EpiCURA

Comme le centre hospitalier, la logistique d'EpiCURA s'est construite petit à petit. Elle a grandi au rythme des fusions entre les différents groupes hospitaliers présentés précédemment. La naissance de ce département voit le jour il y a plus de 20 ans, à l'époque du RHMS sous l'impulsion du directeur général de l'époque qui a voulu mettre en place un département spécialisé dans la logistique afin de pouvoir organiser au mieux celle-ci.

À l'heure actuelle, le département logistique est organisé de façon bien spécifique comme le montre la figure 7.

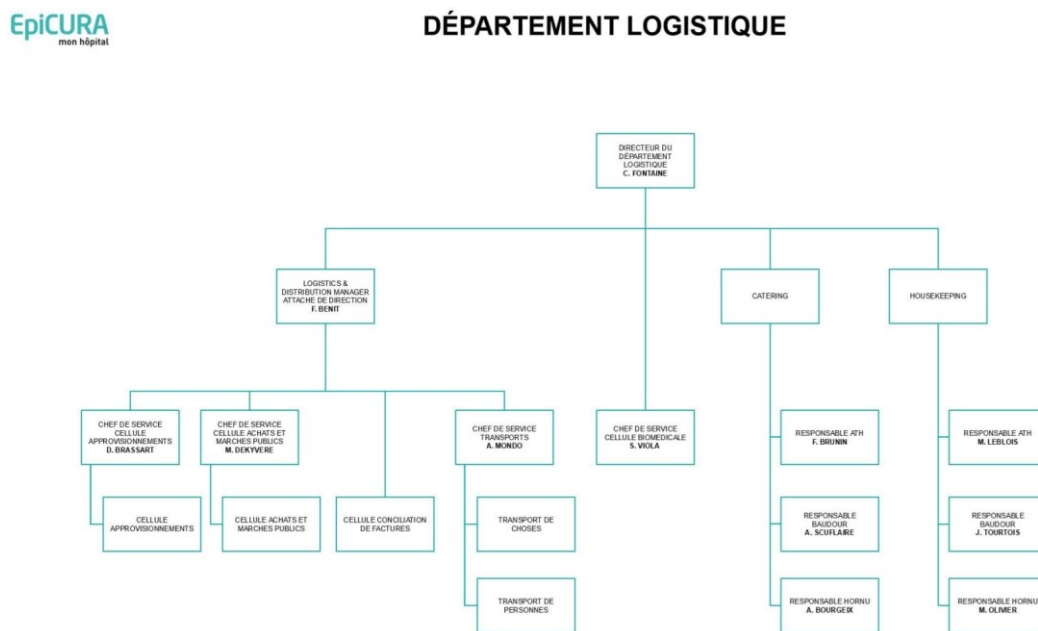


Figure 7 - Organigramme du département logistique (EpiCURA, 2021)

Le département est dirigé par le directeur du département logistique. À droite dans l'organigramme se trouve le « housekeeping », ce service est en charge du nettoyage des différents bâtiments composant le centre hospitalier. Sur chaque site principal, un responsable est chargé de la bonne gestion de ce service.

À gauche du « housekeeping », se trouve le « catering », ce service gère tous les corps de métier qui travaillent à la préparation de la nourriture du centre hospitalier pour les patients ainsi que pour les employés. Un responsable est également désigné sur chaque site.

Au milieu de l'organigramme se situe le chef de service de la cellule biomédicale.

Dans la partie gauche de l'organigramme, nous retrouvons deux chefs de service chargés des achats pour le centre hospitalier. Un s'occupe de l'approvisionnement général de l'hôpital, tandis que l'autre gère les processus liés au marché public, c'est-à-dire l'analyse et la rédaction

des documents procéduraux des marchés publics et suivi des dossiers. Enfin, le dernier chef de service s'occupe de la partie transport. Le service transport est divisé en deux parties complètement différentes, à savoir le transport de personnes et le transport de choses.

2.1 Le transport de personnes

Le transport de personnes est en charge de transporter des patients de leur domicile jusqu'à un hôpital. Celui-ci peut également véhiculer des patients d'un site d'EpiCURA vers un autre site appartenant au centre hospitalier et enfin, transporter des personnes d'un site externe d'EpiCURA vers un site appartenant à au centre hospitalier, ou l'inverse. Ces différents transports de personnes se font via différents types d'ambulances, spécialisées ou non en fonction des spécificités du patient.

L'intégralité de la demande de transport de personnes est sous-traitée à diverses compagnies. Afin de pouvoir lister, programmer tous les transports effectués et à effectuer et de conserver un historique précis, les employés d'EpiCURA et des compagnies sous-traitantes travaillent avec un logiciel développé par le centre hospitalier. Le transport de personnes est crucial pour l'hôpital, mais est également coûteux. Même si certains déplacements sont à charge du patient, comme les transports d'un site d'EpiCURA vers un site externe dont le retour ne se fait pas ou ne se fait pas dans la même journée que l'aller, le montant total des déplacements de patients pour l'année 2020 est de plus de 1,9 million d'euros.

Durant ce mémoire, nous ne nous intéresserons pas au transport de personnes, car le logiciel développé est relativement nouveau et le fonctionnement global du système est jugé bon.

2.2 Le transport de choses

Le transport de choses est lui-même sous-divisé en deux catégories : le transport interne et le transport externe.

2.2.1 Le transport interne

Le transport interne est l'acheminement du matériel, du courrier, des prises de sang... d'un service au sein de l'hôpital vers un autre service qui se situe dans le même hôpital. Le transport interne est organisé dans deux des trois sites principaux du centre hospitalier, à savoir Ath et Baudour. À Hornu, le transport interne existe mais n'est pas organisé par le service transport d'EpiCURA. Ce sont des manutentionnaires ou des logisticiens qui effectuent les transports au sein même de l'hôpital. Un système de tubes pneumatiques existe également dans l'hôpital ce qui permet de limiter le nombre de personnes nécessaires au transport interne.









Ainsi, tout au long de la journée, des transporteurs se rendent dans les différents services qui composent l'hôpital y apporter ou y déposer du matériel spécifique.

Le matin est généralement dédié à la livraison du courrier pour tous les services. Ensuite viennent les livraisons des fournitures d'économat. Tout au long de la journée, un transporteur vient collecter les prélèvements anatomopathologiques ou sanguins afin de les apporter au laboratoire ou de les mettre dans une pièce spécifique pour qu'ils soient transportés vers le laboratoire grâce au transport externe.

Le transport interne est fort dépendant de l'activité de l'hôpital. Si celui-ci fonctionne au ralenti, comme il a pu le faire durant la crise du coronavirus, le courrier, les prélèvements à aller chercher et surtout les fournitures et matériel à porter aux différents services seront grandement réduites et ne prendront pas énormément de temps. À l'inverse, une forte activité implique un temps plus conséquent pour charger le matériel et l'amener dans les services demandeurs.

2.2.2 Le transport externe











Le transport de choses est chargé de l'acheminement d'un site vers un autre, de différents types de colis. Par « site », il faut comprendre les différents lieux appartenant à EpiCURA, à savoir :

-  L'hôpital d'Hornu
-  L'hôpital de Frameries
-  L'hôpital de Baudour
-  L'hôpital d'Ath
-  L'hôpital de Belœil
-  La polyclinique d'Enghien
-  La polyclinique de Dour
-  Le centre administratif « Epicenter »

mais il faut également prendre en compte d'autres lieux, une trentaine, qui sont également desservis par le transport de choses. Ces autres lieux sont des homes, des médecins ou infirmières en collaboration avec EpiCURA ou encore des instituts médicaux qui ont besoin que leurs prélèvements effectués soient traités par les laboratoires du centre hospitalier.

Certains de ces sites sont à visiter quotidiennement, une autre partie des sites ne doivent être visités qu'une à deux fois par semaine et le reste n'est visité qu'après un appel passé au préalable au call-center logistique.

Une multitude de produits sont transportés par le service de transport, comme :

-  Des prélèvements sanguins et urinaux
-  Des prélèvements anatomopathologiques
-  Des médicaments pour dépanner les pharmacies situées sur un autre site
-  Du matériel stérilisé pour les blocs opératoires ainsi que pour les consultations
-  Du matériel biomédical
-  Des rapports de consultations
-  Du courrier à destination d'autres sites d'EpiCURA
-  Du matériel de nettoyage pour le service de housekeeping
-  Des fournitures « Economat » de tout type, seringues, papier, masques, ordinateurs...
-  Du matériel de bureau, du mobilier lors de déménagements d'un service à un autre endroit

Dans la liste présentée ci-dessus, la plupart de ces produits sont transportés quotidiennement sauf le matériel biomédical et le matériel de bureau qui sont transportés uniquement sur demande.

Dans l'annexe 2 se trouve un tableau qui permet de visualiser les différentes et plus fréquentes destinations de chaque type de produit transporté en fonction de son lieu de départ. Les transports les plus importants sont les prélèvements sanguins qui doivent tous aller au laboratoire d'Hornu et les prélèvements anatomopathologiques qui sont quant à eux tous à destination du site de Frameries. Les autres sources de transports qui ne sont pas listées dans l'annexe 2 sont minimales et plus rares, elles concernent le bloc opératoire qui désire de temps en temps envoyer du matériel d'une salle d'opération vers une autre qui se situe sur un autre site ou encore une valise de cardiologie qui doit se rendre sur le site de la polyclinique de Dour une fois par semaine afin d'être utilisée pour des consultations.

Il est important de préciser que toute la demande de transport n'est pas satisfaite par le service transport d'EpiCURA. Les week-ends, jours fériés ainsi que les jours où le service transport compte trop d'absents, le transport est sous-traité par deux sociétés spécialisées dans le transport de colis médicaux.

Étant donné le court temps de conservation d'un prélèvement sanguin, les transports de prélèvements doivent être récurrents et réguliers et donc, une partie du transport de prélèvements sanguins des sites principaux vers le laboratoire d'Hornu est sous-traité.

Ensuite, compte tenu du fait que la demande de transport peut varier à cause des institutions

partenaires qui peuvent demander un transport de prélèvements à tout moment, certains voyages ne sont pas réalisables dans les temps par le transport d'EpiCURA et sont donc eux aussi sous-traités.

Enfin, certains prélèvements doivent parfois être analysés dans des laboratoires externes qui se situent à Bruxelles ou en France, ces transports sont aussi sous-traités.

3 Découverte du cas pratique

3.1 Présentation du problème

Le problème à résoudre est le suivant : optimiser le transport intersites au sein de l'entreprise EpiCURA et plus particulièrement le transport externe de choses. L'idée de ce travail est alors de repenser la façon dont sont transportées les marchandises entre les sites afin de minimiser la distance totale parcourue, effectuer des économies et reprendre une partie des transports de prélèvements entre Baudour et Hornu qui sont actuellement sous-traités par d'autres entreprises.

Afin d'avoir l'opportunité de résoudre efficacement ce problème, nous pouvons repartir d'une feuille blanche. Nous pouvons changer presque complètement l'organisation du transport telle qu'existante actuellement mais nous devons tout de même respecter un ensemble de contraintes et de caractéristiques propres à ce problème que nous détaillerons un peu plus tard dans ce chapitre.

Nous allons utiliser le système de tournées mis en place de manière à définir tous les lieux qui doivent être visités, la récurrence des visites, l'importance, la priorité, l'heure de départ ou d'arrivée maximale autorisée... Certaines données sont disponibles dans des fichiers Excel. Une autre partie des données se trouve dans un logiciel de traçage des véhicules. Un traceur récemment installé dans chaque véhicule mesure un ensemble de données comme le nombre de kilomètres effectués, les sites visités, les temps de route... et ce chaque minute. Ce logiciel nous permettra d'estimer le temps de trajet et le temps d'arrêt moyen sur chaque site à visiter.

Une fois que tous ces paramètres seront clairement définis et que les entrées nécessaires aux modèles sont constituées, nous travaillerons sur la modélisation théorique du problème. Pour résoudre ce problème, nous utiliserons le logiciel FICO Xpress IVE.

3.2 Caractéristiques et contraintes

Le transport doit bien sûr couvrir l'intégralité des sites appartenant au centre hospitalier tous les jours ainsi et aussi être capable d'aller chercher des prélèvements chez les différents médecins ou homes qui travaillent avec le laboratoire d'Hornu pour analyser leurs prélèvements.







Présentement, le service transport du centre hospitalier fonctionne avec 6 tournées. Ces 6 tournées, leurs arrêts et le kilométrage effectué par tournée sont disponibles dans l'annexe 3.

Dans cette tentative d'optimisation, nous allons prendre en compte 5 des 6 tournées qui sont présentées, c'est-à-dire toutes sauf celle qui effectue le plus d'arrêts et de kilomètres, la « navette ». En effet, la navette est un véhicule qui relie Hornu, Baudour et Frameries plusieurs fois durant la journée, en continu et à horaire fixe de 7 h à 18 h 30.

Les temps de trajets et les temps d'arrêt de cette tournée sont chronométrés. Prendre la navette en compte dans cette optimisation impliquerait de trop gros changements et une complexification outrageuse des horaires de passages de celle-ci étant donné qu'elle ne passerait plus nécessairement à heure fixe. Ceci serait un véritable problème pour les services dépendants de cette tournée.

La navette continuera donc de rouler comme elle le fait actuellement. Les autres tournées seront quant à elle bien prises en compte. S'il est possible de proposer un horaire fixe, alors nous ferons peut-être marche arrière et proposerons un résultat en tenant compte de la tournée « navette ».

Nous allons maintenant lister toutes les autres contraintes et caractéristiques à respecter :

-  La plupart des sites doivent être visités au minimum une fois par jour, certains sites doivent quant à eux être visités plusieurs fois par jour. C'est le cas par exemple des hôpitaux qui appartiennent au centre hospitalier
-  Quelques lieux ne sont pas visités quotidiennement. C'est le cas du site d'Enghien qui est visité 3 fois par semaine, le lundi, le mercredi et le vendredi. Le site de Chambord à Mons doit quant à lui n'être visité que le lundi. Enfin, le docteur Scoubeau n'est visité que le vendredi. Cela semble tout de même intéressant de le conserver dans l'analyse car il est plus aisé de commencer avec un nombre important de lieux et de réduire si nécessaire plutôt que l'inverse.
-  Certains lieux doivent être desservis à une heure fixe et précise (le laboratoire, la pharmacie, le bloc opératoire...)
-  Actuellement, les tournées externes sont réalisées par 6 véhicules tous différents. Pour optimiser le transport, un 7^e véhicule pourra être mis en place si cela permet de réaliser de plus amples économies.
-  L'horaire presté par les collaborateurs du service transport ne doit pas dépasser pas 38 h par semaine.
-  Les collaborateurs du service transports commenceront tous à 8h et finiront à 16h. Une tournée ne devra pas durer plus de 7h36 par jour.

Les véhicules doivent tous partir du dépôt et revenir au dépôt en fin de journée. Le dépôt sera ici le site d'Epicercenter.

Les capacités transportées ne sont pas limitantes. Les véhicules ont une taille suffisamment grande pour transporter toutes les marchandises. Par conséquent, il ne faudra pas tenir compte des capacités lors de la formulation du problème.

Ce problème à résoudre s'apparente donc à un problème de tournées de véhicules. Nous utiliserons l'ensemble de la littérature vue dans la première partie de ce mémoire afin de construire un modèle efficace qui permettra de solutionner ce problème.





Si le projet s'avère réalisable, le transport sera pensé d'une façon plus globale. Les différents avantages pourraient être une diminution du nombre de kilomètres parcourus et une diminution du temps de trajet sur les routes. L'efficacité du transport s'en verra donc améliorée. Les tournées seront pensées pour réduire les temps morts des chauffeurs qui peuvent parfois être relativement élevés.

Afin de résoudre ce problème, nous allons essayer d'optimiser le transport de choses en partant d'une base relativement simpliste et éloignée de la réalité en émettant des hypothèses simplificatrices. Si nous trouvons des solutions réalisables avec ces hypothèses, alors nous envisagerons d'adapter le modèle pour qu'il puisse coller un peu plus à la réalité du terrain.

3.3 Création des données

En utilisant les fichiers à disposition et en consultant certains des cadres du département logistique, nous avons pu déterminer que 14 lieux étaient visités quotidiennement ou étaient trop importants pour ne pas être repris dans la résolution de ce problème. Ces lieux à visiter sont les suivants :

- Le centre administratif « EpiCURA »
- L'hôpital d'Ath
- L'hôpital de Baudour
- L'hôpital d'Hornu
- L'hôpital de Frameries
- L'hôpital de Belœil
- La polyclinique de Dour
- La polyclinique de Jurbise
- Le centre de dialyse d'Enghien
- L'IMS (institut médical spécialisé)

-  L'association hospitalière CHAMBORD
-  Le home « Arbre de Vie » à Quaregnon
-  Le docteur Scoubeau
-  Le docteur Defrize

Une fois les lieux déterminés, une matrice carrée des distances avec les lieux en lignes et en colonnes a été créée. Cela permet de connaître toutes les distances entre tous les lieux qui sont repris dans l'analyse. Pour connaître les distances, nous avons utilisé l'outil d'itinéraire de Google Maps ainsi que la distance effectuée par les véhicules tracés par le logiciel cité plus haut. Nous aurions également pu utiliser une technique de calcul des distances à vol d'oiseau et multiplier cette distance par un certain facteur pour obtenir une approximation (Héran, 2009).

Par exemple, pour un trajet Hornu-Beloeil, la distance à parcourir est de 17 kilomètres, mais ce n'est pas forcément vrai pour le cas inverse. En effet, un trajet Beloeil-Hornu comptabilise une distance totale de 17,3 kilomètres. Notre problème est donc asymétrique. La même opération a été réalisée pour constituer une matrice carrée des temps de trajets entre tous les sites à visiter. Encore une fois, cette matrice carrée se relève être asymétrique. Les deux matrices carrées sont disponibles dans l'annexe 4.

Un tableau qui répertorie le temps d'arrêt moyen sur chaque site présent dans l'analyse a également été créé. La création de ce tableau a été rendue possible grâce aux données collectées sur le site Webfleet (Webfleet Solutions, 2021).

Sont donc prises en compte les données du 26 janvier 2011 au 12 février 2021. Durant cette période, 685 arrêts ont été répertoriés. Le tableau 1 possède deux colonnes, la première colonne est la durée moyenne d'arrêt sur chaque site sans prendre en compte les temps de midi et la deuxième colonne prend en compte uniquement les temps d'arrêt sans temps de midi.

Un temps de midi est considéré comme tel lorsqu'un arrêt dure plus de 45 minutes sur site. Sachant qu'un temps de midi classique dure 30 minutes, cela laisse le temps au chauffeur de déposer tout son matériel. Il peut ensuite manger et reprendre des colis avant de retourner à son véhicule pour continuer sa journée.

Certaines durées moyennes d'arrêts sont identiques avec ou sans le temps de midi. Cela s'explique par le fait que les chauffeurs ne mangent que sur quelques sites bien spécifiques. Nous avons également retiré des données les temps d'arrêt liés à une immobilisation de fin de journée et du week-end afin de ne pas fausser les temps d'arrêt moyens par site.

Adresses	Durée Moyenne Avec Temps-midi	Durée Moyenne Sans Temps-midi
Site d'Ath	00:46:15	00:19:28
Site de Baudour	00:31:20	00:19:31
Site de Beloeil	00:11:04	00:11:04
Site de Frameries	00:18:14	00:17:33
Site d'Hornu	00:20:09	00:15:23
Epicenter	00:20:11	00:13:33
Chambord	00:04:00	00:04:00
Defrize	00:09:00	00:09:00
Disca	00:06:36	00:06:36
L' arbre de vie	00:05:10	00:05:10
Enghien	00:10:44	00:10:44
Dour	00:05:45	00:05:45
Jurbise	00:05:45	00:05:45
Scoubeau	00:07:00	00:07:00

Tableau 1 - Durée moyenne d'un temps d'arrêt sur site avec ou sans temps de midi

Ces données permettront d'estimer le temps moyen d'arrêt sur chaque site et donc de dire combien de temps nécessite un trajet en comptant le temps requis sur place, ce qui permettra au programme de donner, dans un second temps, des horaires pour chaque lieu à visiter.

Enfin, la figure 8 montre la dernière matrice carrée qui a été créée. Celle-ci répertorie les différents transports qui sont à effectuer chaque jour. Par exemple, il est nécessaire de se rendre chaque jour chez le docteur Scoubeau pour aller chercher des prélèvements sanguins, ces prélèvements doivent obligatoirement se rendre au laboratoire d'Hornu pour être traités. Par conséquent, un « 1 » est inscrit sur la ligne « Scoubeau », colonne « Hornu ». Un « 1 » est inscrit sur la ligne « Hornu » colonne « Chambord », car il faut déposer des colis à destination de Chambord en provenance du site d'Hornu.

	Hornu	Epicenter	Ath	Baudour	Beloeil	Frameries	Jurbise	Scoubeau	Defrize	DOUR	Arbre de vie	Enghien	Chambord
Hornu	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Epicenter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ath	3	1	0	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0
Baudour	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Beloeil	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frameries	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jurbise	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scoubeau	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Defrize	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DOUR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbre de vie	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enghien	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chambord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 8 - Matrice carrée des transports à effectuer

Un « 0 » est inscrit quand aucun transport entre les deux sites n'est nécessaire. Pour réaliser cette matrice, nous nous sommes aidés du fichier disponible en annexe 2. Celui-ci résume les lieux de départs et d'arrivées des produits transportés les plus fréquents. Un colis biomédical ne peut venir que de 4 sites et aller vers ces 4 mêmes sites.

4 Présentation des modèles d'optimisation

Dans cette partie nous allons aborder les différents modèles utilisés qui nous ont permis d'avancer dans la concrétisation d'une solution au problème des tournées au sein du centre hospitalier d'EpiCURA.

Nous allons d'abord présenter un modèle qui provient d'un problème de tournées de véhicule classique avec quelques spécificités propres qui ont été implémentées. Le deuxième modèle utilisera la même base que le premier mais sera complexifié de façon à se rapprocher le plus fidèlement de la réalité du centre hospitalier. Nous y rajouterons plusieurs variables ainsi que plusieurs contraintes. Enfin, le troisième modèle sera quant à lui un modèle de problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps.

4.1 VRP (1)

Le premier modèle que nous avons créé est un modèle classique qui utilise les bases d'un problème de tournées de véhicules. Ce modèle se concentre sur le fait de minimiser la distance effectuée par les différents véhicules plutôt que de réduire le nombre de véhicules qui roulent.

Nous allons maintenant présenter le modèle plus précisément :

Indices et ensembles

$i, j \in S_I = \{0, 1, \dots, N_I\}$: le nombre de sites à visiter par jour ($N_I = 13$).

$t \in S_T = \{1, 2, \dots, N_T\}$: le nombre de tournées effectuées ($N_T = 10$).

Paramètres

$D_{i,j}$: la distance pour toutes les paires de villes i, j .

$TpsRoul_t$: La durée maximale en minutes que la tournée t peut durer sur une journée.

$TpsArr_i$: La durée en minutes d'un arrêt sur le site i . Cela comprend le temps de déchargement du véhicule, la livraison des différents colis ainsi que la reprise d'autres colis et le temps de chargement du véhicule.

$TpsTraj_{i,j}$: Le temps de trajet en minutes du lieu i jusqu'au lieu j .

$Visite_{i,j}$: Nombre de fois où je dois aller de i à j dans une même tournée, mais pas forcément à la suite l'un de l'autre.

Variables

$x_{i,j,t}$ = variable binaire qui vaut 1 si le trajet entre le site i et le site j est effectué de façon directe par la tournée t , 0 sinon

$u_{i,t}$ = variable décisionnelle entière

$w_{i,j,t}$ = variable binaire qui vaut 1 si la tournée t va du site i au site j mais pas forcément directement, 0 sinon

Modèle

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_t d_{i,j} * x_{i,j,t} \quad (1)$$

s.t.

$$w_{i,j,t} \leq \sum_k x_{i,k,t} \quad \forall i, j \in S_i, t \in S_t \quad (2)$$

$$w_{i,j,t} \leq \sum_k x_{j,k,t} \quad \forall i, j \in S_i, t \in S_t \quad (3)$$

$$\sum_{i,j} x_{i,j,t} * (TpsTraj_{i,j} + TpsArr_j) \leq TpsRoul \quad \forall t \in S_t \quad (4)$$

$$\sum_i x_{i,p,t} - \sum_j x_{p,j,t} = 0 \quad \forall p \in S_i, t \in S_t \quad (5)$$

$$u_{i,t} - u_{j,t} + (N_I * w_{i,j,t}) \leq N_I \quad \forall i, j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (6)$$

$$u_{i,t} \leq N_I \quad \forall i \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (7)$$

$$u_{i,t} \geq 1 \quad \forall i \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (8)$$

$$u_{i,t} - u_{j,t} + (N_I * x_{i,j,t}) \leq N_I - 1 \quad \forall i, j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (9)$$

$$\sum_j x_{i,j,t} \leq 1 \quad \forall i \in S_i, t \in S_t \quad (10)$$

$$\sum_t w_{i,j,t} = Visite_{i,j} \quad \forall i, j \in S_i \quad (11)$$

$$x_{i,j,t} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t \quad (12)$$

$$u_{i,t} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in S_i, t \in S_t \quad (13)$$

$$w_{i,j,t} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t \quad (14)$$

La fonction (1) est une fonction objectif de minimisation du nombre total de kilomètres effectués pour tous les trajets et pour toutes les tournées.

La contrainte (2) indique que la variable w pourra être égale à 1 si l'on part bien d'un site i vers un autre site k , n'importe lequel. La contrainte (3) indique que la variable w pourra valoir 1 si l'on part bien d'un site j vers un autre site k , n'importe lequel. La variable w peut être égale à 1 uniquement si l'on passe bien par le site i et le site j .

La contrainte (4) force le modèle à respecter un temps maximal de travail. Chaque tournée a une durée maximale afin que les chauffeurs aient un horaire de travail convenable. Le temps total est donc la somme des différents temps de trajets effectués ainsi que tous les temps d'arrêt marqués par les chauffeurs durant leur tournée.

La contrainte (5) permet la conservation du flux. Si un véhicule visite un site, alors il doit le quitter. Il en est de même pour le dépôt, s'il le quitte, alors il doit fatalement y retourner en fin de tournée car cette contrainte le lui oblige.

La contrainte (6) force la variable w à valoir 1 uniquement si le site i est visité avant le site j . Il faut que les deux sites soient visités dans l'ordre. Si l'on visite le site j puis le site i , la variable w ne sera pas égale à 1 car on n'a pas visité les sites dans le bon ordre.

Les contraintes (7) à (9) sont des contraintes qui évitent la formation de sous-tours lorsque de nouvelles tournées sont créées. La variable u va s'incrémenter de façon à former un ordre de passage. Lorsque la variable x ou w vaudront 1, le site j devra toujours être visité après le site i (Tancrez, 2021).

La contrainte (10) est une contrainte qui force le modèle à ne se rendre qu'une fois maximum par site pour chaque tournée. Sans celle-ci, une tournée pourrait commencer au dépôt, visiter quelques sites, retourner au dépôt et puis repartir une nouvelle fois visiter quelques autres sites avant de revenir une dernière fois au dépôt pour finir sa tournée.

La contrainte (11) est la contrainte qui force la variable w à prendre les valeurs que l'on veut lui donner en entrée. Si l'on veut effectuer 5 fois le trajet Baudour \rightarrow Hornu, il faut alors que le paramètre *Visite* de Baudour à Hornu soit égal à 5.

La contrainte (12) indique que la variable x est binaire. La contrainte (13) indique que la variable u appartient au champ des entiers positifs et la contrainte (14) indique que la variable w est une variable binaire.

Même si ce modèle est simplifié par rapport à la réalité, il comporte des éléments qui le rendent différent de ce que nous avons pu voir dans la première partie de ce mémoire concernant les problèmes de tournées de véhicules. En effet, la différence réside dans l'apparition de la variable w . Dans un problème de tournées de véhicule standard, les véhicules quittent le dépôt et visitent les sites afin d'y apporter des marchandises, d'y décharger du matériel.

Dans notre cas, le dépôt n'est qu'un lieu où les véhicules stationnent en attendant d'être utilisés. Le matériel à transporter se situe dans chacun des sites et non pas au dépôt. Quand un chauffeur démarre sa tournée, le véhicule roule à vide du dépôt jusqu'au premier site où il commence à charger du matériel. De plus, si un trajet doit être effectué entre Baudour et Hornu, le trajet ne doit pas être forcément effectué directement, si plusieurs sites sont visités entre ces 2 sites, le trajet sera quand même compté comme fait. L'apparition de cette variable permet donc de limiter les retours au dépôt et de pouvoir visiter plusieurs sites pour y charger et décharger du matériel avant de revenir au dépôt.

Nous allons maintenant rajouter au modèle la notion de véhicule. En effet, dans le modèle précédent cette notion était absente. Celui-ci créait un ensemble de tournées à réaliser. Même si nous n'avons que 6 véhicules à disposition, il pouvait créer un nombre supérieur de tournées, si cela permettait de réduire le nombre de kilomètres effectués. Un véhicule aurait alors effectué une première tournée, serait revenu au dépôt et aurait continué sa journée en effectuant une deuxième tournée créée par le logiciel. L'affectation des véhicules à une tournée est faite manuellement.

4.2 VRP avec notion de véhicule (2)

Avec ce deuxième modèle, nous voulons ajouter la notion de véhicule au modèle. Désormais, celui-ci connaîtra le nombre de véhicules disponibles et pourra attribuer à chaque véhicule une ou plusieurs tournées si cela est nécessaire.

En outre, nous allons également prendre en compte les coûts variables et fixes réels des différents véhicules. Cela nous permettra d'obtenir une fonction objectif pondérée correctement.

Par exemple, si nous effectuons un total de 300 kilomètres avec les tournées et que nous avons besoin de 5 véhicules, la fonction objectif vaudrait 305 si nous ne prenions pas en compte les

coûts réels des véhicules. Chaque véhicule supplémentaire coûterait 1 au modèle, ce qui n'est pas très réaliste car les kilomètres dans la réalité, parcourir 1 km supplémentaire ne coûte pas la même chose qu'utiliser un véhicule supplémentaire.

Voici donc les changements que nous avons apportés par rapport au modèle initial

Indices et ensembles

Nous avons rajouté un ensemble aux deux autres qui étaient déjà présents. Celui-ci indique le nombre de véhicules qui sont à notre disposition. Soit :

$v \in S_v = \{1, 2, \dots, N_v\}$: le nombre de véhicules disponibles ($N_v = 5$).

Paramètres

Nous devons rajouter deux paramètres qui nous permettront d'obtenir une approximation du coût variable et coût de chaque véhicule

$CostF_v$: Le coût d'activation d'un véhicule v par jour pour effectuer une tournée.

$CostV_v$: Le coût d'un kilomètre parcouru dans un véhicule v qui effectue une tournée.

Variables

Pour les variables, quelques changements sont à effectuer. Il sera nécessaire de rajouter l'indice v aux variables déjà existantes et ensuite créer une nouvelle variable y .

$x_{i,j,t,v}$ = variable binaire qui vaut 1 si le trajet entre le site i et le site j est effectué de façon directe par la tournée t avec le véhicule v .

$u_{i,t,v}$ = variable décisionnelle entière.

$w_{i,j,t,v}$ = variable binaire qui vaut 1 si la tournée t va du site i au site j avec le véhicule v mais pas forcément directement, 0 sinon.

y_v = variable binaire qui vaut 1 si l'on utilise le véhicule v , 0 sinon.

Modèle

Le modèle se voit également modifié par l'apparition de cette nouvelle variable. Voici toutes les nouvelles contraintes ou les contraintes qui sont modifiées par l'ajout de l'indice v .

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_t \sum_v (D_{i,j} * x_{i,j,t,v} * \text{Cout}V_v) + \sum_v y_v * \text{Cout}F_v \quad (15)$$

s.t.

$$w_{i,j,t,v} \leq \sum_k x_{i,k,t,v} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t, v \in S_v \quad (16)$$

$$w_{i,j,t,v} \leq \sum_k x_{j,k,t,v} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t, v \in S_v \quad (17)$$

$$x_{i,j,t,v} \leq y_v \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t, v \in S_v \quad (18)$$

$$\sum_{i,j,v} x_{i,j,t,v} * (TpsTraj_{i,j} + TpsArr_j) \leq TpsRoul \quad \forall t \in S_t \quad (19)$$

$$\sum_i x_{i,p,t,v} - \sum_j x_{p,j,t,v} = 0 \quad \forall p \in S_i, t \in S_t, v \in S_v \quad (20)$$

$$u_{i,t,v} - u_{j,t,v} + (N_I * w_{i,j,t,v}) \leq N_I \quad \forall i,j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t, v \in S_v \quad (21)$$

$$u_{i,t,v} \leq N_I \quad \forall i \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t, v \in S_v \quad (22)$$

$$u_{i,t,v} \geq 1 \quad \forall i \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t, v \in S_v \quad (23)$$

$$u_{i,t,v} - u_{j,t,v} + (N_I * x_{i,j,t,v}) \leq N_I - 1 \quad \forall i,j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t, v \in S_v \quad (24)$$

$$\sum_t \sum_v w_{i,j,t,v} = \text{Visite}_{i,j} \quad \forall i,j \in S_i \quad (25)$$

$$x_{i,j,t,v} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t, v \in S_v \quad (26)$$

$$u_{i,t,v} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in S_i, t \in S_t, v \in S_v \quad (27)$$

$$w_{i,j,t,v} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t, v \in S_v \quad (28)$$

$$y_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in S_v \quad (29)$$

Nous pouvons constater que toutes les contraintes du modèle et la fonction objectif ont été changées. La fonction (15) essaie désormais de minimiser non plus seulement les kilomètres, mais également le nombre de véhicules utilisés pour effectuer les tournées. La contrainte (18)

permet de lier les variables y et x entre elles. Si un trajet est réalisé avec un véhicule v , alors la variable y_v correspondante devra obligatoirement valoir 1. La contrainte (19) remplace la contrainte (4) du modèle précédent. Le principe de cette contrainte reste le même, c'est-à-dire d'empêcher qu'un véhicule ne roule plus longtemps que le temps maximal qui lui est autorisé par jour. En effet, si chaque véhicule v roule moins longtemps que le temps maximal autorisé, alors chaque tournée t réalisée avec le même véhicule v durera forcément moins longtemps que le temps maximal autorisé. Par conséquent, les véhicules et les tournées ne dépasseront pas le temps maximal. La contrainte (29) indique la binarité de la variable y .

Enfin, les contraintes (16), (17) et (20) à (28) sont les mêmes que les contraintes du modèle précédent, les explications sont toujours valides. La seule modification est l'indice v que nous avons rajouté sur toutes ces contraintes.

L'avantage de ce modèle est qu'il tient compte du nombre de véhicules qui sont disponibles pour effectuer les transports. La fonction objectif ne permet pas seulement de minimiser le nombre de kilomètres effectués, mais aussi le nombre de véhicules requis. De plus, la fonction objectif est désormais pondérée correctement.

Nous avons obtenu un modèle qui s'approche de plus en plus de la réalité du terrain. Néanmoins, tous les sites ne peuvent pas être visités à n'importe quelle heure de la journée. Certains doivent obligatoirement être visités le matin et d'autres de préférence l'après-midi. Nous allons dans la prochaine section travailler sur ce problème d'heures de visites.

4.3 VRPTW (3)

Comme nous l'avons dit dans la section 4.2., certains sites doivent être visités à une heure bien précise de la journée. Pour essayer de résoudre ce problème, nous allons mettre en œuvre les connaissances acquises grâce à la synthèse de la littérature faite dans la première partie de ce mémoire. Nous allons utiliser le modèle créé par Chabrier en 2006 ainsi que la thèse de Haiyan, (2005) pour établir notre nouveau modèle.

Nous allons travailler sur une variante des problèmes de tournées de véhicules avec fenêtre de temps. Celle-ci nous permettra de créer une fenêtre de temps pour chaque site dans laquelle les arrêts pourront s'effectuer. Elle sera constituée d'une heure d'ouverture et de fermeture. Pour construire ce troisième et dernier modèle, nous repartirons du premier modèle construit et nous rajouterons les contraintes liées au respect des fenêtres de temps.

Indices et ensembles

$i, j \in S_i = \{0, 1, \dots, N_i\}$: le nombre de sites à visiter par jour ($N_i = 13$).

$t \in S_t = \{1, 2, \dots, N_t\}$: le nombre de tournées pouvant être effectuées ($N_t = 10$).

Paramètres

$D_{i,j}$: la distance pour toutes les paires de villes i, j .

$TpsRoul$: La durée maximale en minutes qu'un véhicule peut rouler sur une journée.

$TpsArr_i$: La durée en minutes d'un arrêt sur le site i . Cela comprend le temps de déchargement du véhicule, la livraison des différents colis ainsi que la reprise d'autres colis et le temps de chargement du véhicule.

$TpsTraj_{i,j}$: Le temps de trajet en minutes du lieu i jusqu'au lieu j .

$Visite_{i,j}$: Nombre de fois où je dois aller de i à j dans une même tournée, mais pas forcément à la suite l'un de l'autre.

$DebutFenetre_i$: C'est le début de la fenêtre de temps du site i où les arrêts peuvent s'effectuer.

$FinFenetre_i$: C'est la fin de la fenêtre de temps du site i où les arrêts peuvent s'effectuer. Après cet instant, les arrêts sur le site i ne seront plus autorisés.

$M_{i,j}$: Paramètre qui indique la durée maximale dans lequel un arrêt sur le site j en partant du site i est autorisé. Ce paramètre permet d'éviter l'utilisation d'un grand nombre. Ce paramètre s'exprime de la manière suivante :

$$M_{i,j} = FinFenetre_i + TpsTraj_{i,j} + TpsArr_i - DebutFenetre_j$$

Ce paramètre est inspiré de Haouari, Dejax, & Desrochers (1990) ainsi que de Cordier et Tancrez (2020).

Variables

$x_{i,j,t}$ = variable binaire qui vaut 1 si le trajet entre le site i et le site j est effectué de façon directe par la tournée v , 0 sinon.

$w_{i,j,t}$ = variable binaire qui vaut 1 si la tournée v va du site i au site j mais pas forcément directement, 0 sinon.

$u_{i,t}$ = variable décisionnelle entière.

$tps_{i,t}$: variable décisionnelle entière qui représente l'heure de départ sur le site i .

Modèle

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_t d_{i,j} * x_{i,j,t} \quad (30)$$

s.t.

$$w_{i,j,t} \leq \sum_k x_{i,k,t} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t \quad (31)$$

$$w_{i,j,t} \leq \sum_k x_{j,k,t} \quad \forall i,j \in S_i, t \in S_t \quad (32)$$

$$\sum_j x_{i,j,t} \leq 1 \quad \forall i \in S_i, t \in S_t \quad (33)$$

$$\sum_{i,j} x_{i,j,t} * (TpsTraj_{i,j} + TpsArr_j) \leq TpsRoul \quad \forall t \in S_t \quad (34)$$

$$\sum_i x_{i,p,t} - \sum_j x_{p,j,t} = 0 \quad \forall p \in S_i, t \in S_t \quad (35)$$

$$u_{i,t} \leq N_I \quad \forall i \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (36)$$

$$u_{i,t} \geq 1 \quad \forall i \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (37)$$

$$u_{i,t} - u_{j,t} + (N_I * x_{i,j,t}) \leq N_I - 1 \quad \forall i,j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (38)$$

$$u_{i,t} - u_{j,t} + (N_I * w_{i,j,t}) \leq N_I \quad \forall i,j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (39)$$

$$\sum_t w_{i,j,t} = Visite_{i,j} \quad \forall i,j \in S_i \quad (40)$$

$$tps_{i,t} \geq DebutFenetre_i \quad \forall i \in S_i, t \in S_t \quad (41)$$

$$tps_{i,t} \leq FinFenetre_i \quad \forall i \in S_i, t \in S_t \quad (42)$$

$$\begin{aligned} tps_{i,t} + TpsTraj_{i,j} + TpsArr_i - tps_{j,t} \\ \leq M_{i,j} * (1 - w_{i,j,t}) \end{aligned} \quad \forall i,j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (43)$$

$$\begin{aligned} tps_{i,t} + TpsTraj_{i,j} + TpsArr_i - tps_{j,t} \\ \leq M_{i,j} * (1 - x_{i,j,t}) \end{aligned} \quad \forall i,j \in S_i \setminus \{0\}, t \in S_t \quad (44)$$

$$tps_{i,t} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in S_i, t \in S_t \quad (45)$$

$$x_{i,j,t} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in S_i, t \in S_t \quad (46)$$

$$u_{i,t} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in S_i, t \in S_t \quad (47)$$

$$w_{i,j,t} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in S_i, t \in S_t \quad (48)$$

La plupart des contraintes présentes dans ce dernier modèle ont déjà été abordées lors des modèles différents. Les nouvelles contraintes implémentées sont les contraintes (41) à (45).

La contrainte (41) indique que la variable tps doit toujours être supérieure au début de la fenêtre du site i . Cela signifie que l'arrivée au site i doit toujours se faire lorsqu'il est ouvert et la contrainte (42) indique quant à elle qu'une visite doit avoir lieu sur le site avant que ce site ne soit fermé. La contrainte (43) et (44) forcent les variables tps à prendre certaines valeurs quand x ou w valent 1. Elles obligent à ne modifier que les variables tps de 2 sites qui se suivent, si x ou w vaut 1. Le temps d'arrivée sur le site j doit être supérieur au temps de départ du site i d'au moins le temps de trajet plus le temps d'arrêt sur le site i . Cette contrainte permet également que le temps d'arrivée au point j soit bien dans la fenêtre d'ouverture de ce point quand le véhicule part de i . La contrainte (45) indique la variable appartient au champ des entiers positifs.

Il est important de noter que la contrainte (44) agit également comme une contrainte qui élimine les sous-tours. Effectivement, étant donné que chaque site est visité à une heure précise et que l'arrivée au prochain est obligatoirement après le départ d'un autre site, alors un ordre de visite est créé via cette contrainte. Donc, $tps_{i,t} < tps_{j,t}$. L'élimination de sous-tours est alors réalisée deux fois dans ce modèle avec les contraintes (38) et (44).

Toutefois, nous avons pu remarquer lors de l'exécution de ce modèle que celui-ci était en mesure de trouver une solution bien plus rapidement lorsque nous laissons toutes les contraintes de sous-tours. En effet, pour une instance composée de 10 sites à visiter, le modèle était capable de trouver une solution optimale deux fois plus rapidement avec les deux contraintes de sous-tours plutôt qu'avec une seule. Par conséquent, nous ne supprimerons pas les contraintes de sous-tours créées avec la variable u .

5 Résultats des modèles

Nous allons dans ce chapitre parler plus longuement des résultats obtenus par les différents modèles élaborés dans le chapitre précédent. D’abord, nous proposerons une solution avec une configuration classique. Ensuite, nous déplacerons fictivement le dépôt du site administratif d’Epicenter au site d’Hornu pour peut-être obtenir une meilleure solution. Nous comparerons également les résultats de tous les modèles pour définir celui qui apporte la solution la plus proche de l’optimalité et trouver le modèle qui satisfait les besoins du centre hospitalier EpiCURA.

Dans ce chapitre, nous listerons donc tous les résultats obtenus par les modèles, mais nous ne calculerons pas les différents coûts que peut coûter l’implantation d’un nouveau système de tournées au sein d’EpiCURA. L’implantation de la solution ainsi que tous les calculs de coûts seront effectués dans le chapitre suivant.

Il est important de préciser que tous les résultats sont obtenus après 1 heure de calcul (3600 secondes) sur le logiciel FICO Xpress IVE.

5.1 Résultats obtenus

Voici les résultats obtenus pour les différents modèles construits au chapitre précédent. Le dépôt est le centre administratif Epicenter et chaque véhicule doit commencer et terminer chaque tournée à ce lieu précis.

Méthode	Tournée	Distance (en km)	Gap	Amélioration par rapport à la solution avant optimisation
Avant optimisation	1	119,5	/	/
	2	85,8		
	3	43,3		
	4	37,7		
	5	149,3		
	Somme	435,6		

Méthode	Tournée	Distance (en km)	Gap	Amélioration par rapport à la solution avant optimisation
VRP (1)	1	147,7	54,94 %	-17,74 %
	2	131,6		
	3	106,8		
	4	61		
	5	65,8		
	Somme	512,9		
VRP avec notion de véhicule (2)	/	/	/	Aucune solution réalisable trouvée en 3600 secondes
VRPTW (3)	1	91,3	28.74 %	11,5 %
	2	103,7		
	3	102,5		
	4	87,9		
	Somme	385,5		

Nous pouvons constater que les trois modèles obtiennent des résultats qui sont complètement différents.

Le modèle (1) obtient une solution qui est moins bonne que la situation avant optimisation avec 512,9 kilomètres parcourus. Cela représente une augmentation du nombre de kilomètres de 17,74 % et par conséquent des tournées qui sont bien plus longues que nécessaire. Le gap d'optimalité, ce qui représente l'intervalle entre la meilleure solution linéaire trouvée et la borne inférieure réelle du problème, est de 54,94 %. Il est relativement élevé et indique que peut-être, une meilleure solution aurait pu être trouvée.

Le modèle (2) ne parvient pas à obtenir une solution en 3600 secondes de calcul.

Le modèle (3) parvient à obtenir une solution qui effectue moins de kilomètres que les tournées déjà mises en place actuellement. 385,5 km sont parcourus au lieu de 435,6 km. Cela représente une amélioration de 11,5 %. Le gap est également nettement inférieur, ce qui témoigne que la

solution trouvée se rapproche un peu plus d'une solution optimale. D'un point de vue kilométrique, le modèle (3) est le seul qui propose une meilleure solution que celle d'avant optimisation.

Étudions maintenant les résultats obtenus au niveau du temps nécessaire pour effectuer les tournées, c'est-à-dire le temps de trajets vers les sites ainsi que le temps d'arrêt requis pour porter le matériel.

Méthode	Tournée	Temps (en minutes)	Amélioration par rapport à la solution avant optimisation
Avant optimisation	1	343	/
	2	243	
	3	210	
	4	193	
	5	306	
	Somme	1295	
VRP (1)	1	304	5,56 %
	2	311	
	3	375	
	4	149	
	5	184	
	Somme	1223	
VRP avec notion de véhicule (2)	/	/	Aucune solution réalisable trouvée en 3600 secondes
VRPTW (3)	1	218	26,33 %
	2	236	
	3	260	
	4	240	
	Somme	954	

Nous pouvons constater que tous les modèles offrent un temps nécessaire pour effectuer les tournées inférieur à celui d'avant optimisation, même ceux qui ne diminuent pas le nombre de kilomètres parcourus.

Le modèle (1) propose une amélioration de 5.53 % par rapport au temps nécessaire requis avant une quelconque optimisation.

Le modèle (2) ne parvient pas à trouver une solution réalisable endéans les 3600 secondes de calcul.

Le modèle (3) obtient les meilleurs résultats avec une diminution du temps requis pour effectuer les tournées de 26,33 % en passant de 1295 minutes à 954 minutes.

Cette grande différence de temps requis entre les modèles s'explique par le fait que le modèle (1) fait plus d'arrêts que nécessaire durant ses tournées. Effectivement, en additionnant toutes les tournées, nous obtenons 42 arrêts pour le modèle (1) contre 33 pour le modèle (3). Sachant qu'il y a 29 visites obligatoires à effectuer comme nous le montre la figure 11, nous pouvons dire que le modèle (1) n'arrive pas à effectuer ses visites obligatoires sans limiter le nombre de visites totales effectuées.

5.2 Quid si l'on déplace le dépôt

Dans cette partie, nous voudrions connaître l'impact sur les résultats si nous venions à changer le dépôt de site. Il serait peut-être intéressant de le placer fictivement sur le site d'Hornu. Ce changement est tout à fait envisageable car comme déjà dit, le dépôt n'est un pas site spécial où les véhicules s'approvisionnent en marchandises avant d'aller livrer tous les sites mais bien uniquement un lieu de stationnement pour les véhicules en fin de journée. Les marchandises transportées sont dispersées dans chacun des sites et non pas au dépôt.

Hornu est un site qui doit être régulièrement visité car il faut amener au laboratoire les prélèvements sanguins collectés. Par conséquent, beaucoup de trajets doivent finir à Hornu et cela pourrait aider le modèle de définir Hornu comme dépôt. Le modèle ne devrait donc plus se soucier des trajets avec comme départ ou arrivée le site d'Hornu étant donné qu'il s'y rendra obligatoirement en début et fin de tournée.

Dans la réalité, les départs et arrivées se feront toujours du site d'Epicenter car il n'y a qu'un kilomètre et demi qui sépare ces deux sites. Nous rajouterons le dernier trajet manuellement. Voici les résultats que nous avons obtenus avec le dépôt fictif placé sur le site d'Hornu plutôt qu'au centre administratif d'Epicenter.

Méthode	Tournée	Distance (en km)	Gap	Amélioration par rapport à la méthode sans modèle
Avant optimisation	1	119,5	/	/
	2	85,8		
	3	43,3		
	4	37,7		
	5	149,3		
	Somme	435,6		
VRP (1)	1	118,6	40,22 %	11,96 %
	2	2,9		
	3	65		
	4	97,4		
	5	99,6		
	Somme	383,5		
VRP avec notion de véhicule (2)	1	124,7	38,51 %	1,77 %
	2	111,7		
	3	63,8		
	4	34,3		
	5	93,4		
	Somme	427,9		
VRPTW (3)	1	95,4	25,02 %	16,69 %
	2	100,5		
	3	67,9		
	4	99,1		
	Somme	362,9		

Nous obtenons ici des résultats quelque peu différents de ceux obtenus lorsque le dépôt était sur le site d'Epicerter.

Le modèle (1) présente une amélioration de près de 11,96 % avec 383,5 kilomètres parcourus et 5 tournées créées.

Le modèle (2) propose une amélioration de 1,77 %. Ce résultat mitigé est sûrement dû à la complexité du modèle ainsi qu'à l'important nombre de variables qui le compose.

Le modèle (3) propose la meilleure amélioration avec 16,69 % de kilomètres parcourus en moins, 4 tournées créées et un gap de 25,02 %.

De manière générale, les gaps obtenus sur ces modèles sont légèrement plus petits que lorsque le dépôt était sur le site d'Epicerter, ce qui témoigne que l'on tend à se rapprocher d'une solution optimale.

Voici maintenant les résultats obtenus au niveau du temps nécessaire pour effectuer ces nouvelles tournées :

Méthode	Tournée	Temps (en minutes)	Amélioration par rapport à la solution avant optimisation
Avant optimisation	1	343	/
	2	243	
	3	210	
	4	193	
	5	306	
	Somme	1295	
VRP (1)	1	278	29,19 %
	2	37	
	3	191	
	4	192	
	5	219	
	Somme	917	

Méthode	Tournée	Temps (en minutes)	Amélioration par rapport à la solution avant optimisation
VRP avec notion de véhicule (2)	1	292	23,71 %
	2	246	
	3	151	
	4	99	
	5	200	
	Somme	988	
VRPTW (3)	1	229	31,81 %
	2	222	
	3	204	
	4	228	
	Somme	883	

Le modèle (1) réduit le temps nécessaire pour effectuer les tournées de 29,19 %. Le modèle (2) propose une diminution du temps nécessaire de 23,71 % et enfin le modèle (3) parvient à réduire le temps nécessaire pour effectuer les tournées de 31,81 % avec 883 minutes contre 1295 avant optimisation.

Nous pouvons conclure que le modèle le plus efficace est le VRPTW (3). Ce modèle a proposé la meilleure solution, que ce soit avec le dépôt situé à Epicenter ou à Hornu. Le modèle parvient à améliorer la situation de près de 12 à 17 % en fonction du lieu du dépôt. Au niveau du temps requis pour effectuer les nouvelles tournées, il est réduit de 26 à près de 32 %. Il propose à chaque fois une solution constituée de 4 tournées contre 5 avant optimisation, ce qui représente un véhicule en moins nécessaire.

De plus, les tournées créées sont équivalentes entre elles, elles ont toutes un nombre d'arrêts compris entre 6 et 8. La seule différence avec ce modèle est que parfois, un chauffeur devra attendre sur un site plus longtemps que le temps d'arrêt théoriquement requis car il doit attendre l'ouverture du prochain site où il doit se rendre.

5.3 Optimisation des sites à visite unique

Nous avons également effectué une autre optimisation qui pourra peut-être servir à l'hôpital. En effet, le service logistique de l'hôpital est en pleine réforme et des projets comme la centralisation de l'économat et de la pharmacie sont en cours. Ces réformes signifient de multiples changements dans la façon dont est organisé le transport au sein d'EpiCURA.

Un camion relierait le site de Baudour, Frameries et Hornu tous les jours afin d'y apporter fournitures et médicaments. Le service catering de l'hôpital créerait une tournée indépendante afin de livrer les sites ayant besoin de repas chauds.

Nous avons alors listé tous les sites qui ne seront plus visités qu'une seule fois par jour ou moins quand ces différentes réformes auront vu le jour. Ces sites sont au nombre de 10. Les transports qui devront toujours être effectués sont principalement des transports de prélèvements au départ de différents sites qu'il faudra aller déposer soit au laboratoire d'Hornu, soit sur le site de Baudour qui aura une navette qui portera les prélèvements toutes les 30 minutes.

Cette nouvelle optimisation a été effectuée grâce au modèle VRPTW (3) que nous avons élaboré dans le chapitre 4.3 sur le VRPTW. Nous avons utilisé le problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps car il s'y prêtait très bien étant donné que les sites à visiter ont tous des préférences différentes pour l'heure à laquelle les chauffeurs peuvent aller chercher les prélèvements.

Voici les résultats que nous avons obtenus avec cette nouvelle optimisation :

Méthode	Tournée	Distance (en km)	Temps de parcours (en min)	Gap
VRP avec fenêtre de temps (1)	1	39,1	135	Solution optimale (0 %)
	2	90,4	236	
	Somme	129,5	371	

La solution que nous obtenons est une solution optimale, c'est la meilleure solution qu'il est possible d'atteindre en essayant de résoudre ce problème. La solution a été trouvée après 21 secondes de calcul. Nous avons une distance totale parcourue de 129,5 kilomètres et un temps de parcours de 371 minutes pour le total des 2 tournées.

Dans la figure 9 se trouvant ci-dessous, vous pourrez trouver le détail des tournées ainsi que les heures de départ sur chaque site.

Tournée 1	Heure d'arrivée	Distance	TpsTraj	TpsArr
Epicenter vers Dour	10 h 30	7	12	13
Dour vers Defrize	11 h 00	5,9	6	6
Defrize vers Scoubeau	11 h 39	11,1	12	9
Scoubeau vers Baudour	12 h 00	7	11	7
Baudour vers Disca	12 h 18	5,7	10	20
Disca vers Hornu	13 h 00	1	3	7
Hornu vers Epicenter	13 h 52	1,4	4	15

Tournée 2	Heure d'arrivée	Distance	TpsTraj	TpsArr
Epicenter vers Frameries	8 h 00	8,2	15	13
Frameries vers Jurbise	8 h 55	17,4	21	18
Jurbise vers Baudour	9 h 34	12,7	19	6
Baudour vers Arbre de vie	10 h 00	6,8	14	20
Arbre de vie vers Hornu	10 h 42	4,4	8	5
Hornu vers Dour	10 h 55	8,5	15	15
Dour vers Chambord	11 h 25	19,5	29	6
Chambord vers Epicenter	11 h 50	14,4	15	4

Figure 9 - Détail des tournées créées

La première ligne avec les heures est l'heure de départ sur le site d'Epicenter, les lignes suivantes sont les heures d'arrivée sur les sites respectifs. La tournée 1 verra son retour au dépôt à 14h09 et la tournée 2 à 12h09.

6 Synthèse

Durant cette partie chapitre, nous avons d'abord présenté finement l'entreprise et son département logistique. Nous avons ensuite présenté la problématique de l'entreprise en listant toutes les caractéristiques et contraintes à respecter pour ce problème.

Une fois toutes les caractéristiques du problème en tête, nous avons pu passer à la modélisation mathématique du problème. Nous avons élaboré trois modèles en vue de résoudre le cas pratique d'EpiCURA.

Durant le dernier chapitre, nous avons pu essayer tous nos modèles et nous avons pu constater que les résultats varient grandement en fonction du modèle et du lieu de dépôt choisi.

Le modèle VRP (1) a été en mesure d'offrir des résultats tout à fait satisfaisants, que ce soit en termes de kilomètres parcourus ou bien en temps requis pour effectuer les tournées. Le modèle (2) n'a quant à lui pas su apporter de solutions intéressantes. En effet, il a été dans l'incapacité de trouver une solution lorsque le dépôt était situé à Epicenter et a trouvé une solution moyenne

avec le dépôt à Hornu. Il a toutefois été en mesure de réduire drastiquement le temps requis pour effectuer les tournées. Le modèle le plus efficace a été le modèle (3). Il est parvenu à obtenir la meilleure solution à chaque fois et à réduire le plus possible le temps de parcours. Grâce à ce modèle, nous sommes passés d'un total de 435,6 kilomètres parcourus à 362,9, soit 16.69 % d'amélioration.

Nous pouvons également dire que délocaliser fictivement le dépôt sur le site d'Hornu a été efficace car cela a permis d'améliorer la solution de près de 5 %.

Enfin, nous proposons une dernière solution pour l'hôpital, celui-ci ayant quelques réformes en cours pour les mois et années à venir. Nous réutilisons le modèle (3) pour tenter d'optimiser le transport entre les dix sites qui ne devront plus être visités qu'une fois par jour dans le futur. Cette dernière solution obtenue est optimale et propose également au centre hospitalier des horaires déjà constitués.

III Analyse managériale

Dans cette dernière partie, nous commencerons par montrer la solution au problème des tournées retenue par le centre hospitalier d'EpiCURA. Nous montrerons la base sur laquelle nous nous sommes appuyés pour proposer cette solution.

Une fois que nous aurons montré la solution finale, nous quantifierons tous les coûts du service transport de l'hôpital. Grâce à ces coûts, nous serons en mesure de dire si oui ou non, notre solution est économiquement avantageuse pour l'hôpital.

Nous continuerons cette analyse managériale en travaillant sur la reprise de transports qui sont actuellement sous-traités par d'autres sociétés. Nous estimerons le coût des transports sous-traités et nous analyserons la situation actuelle pour définir si internaliser une partie des activités sous-traitées peut être avantageux d'un point de vue économique et/ou social.

Nous estimerons bien sûr le coût de la dernière solution que nous avons proposée pour anticiper les changements qui auront lieu au sein de l'hôpital dans les prochains mois/années.

Enfin, nous terminerons ce chapitre en évoquant le futur proche et lointain d'EpiCURA. Nous proposerons quelques analyses pour internaliser d'autres transports sous-traités et nous parlerons du transport de manière plus générale pour déterminer s'il augmentera ou diminuera dans les années à venir.

1 Solution finale retenue

Entre les différentes solutions proposées par les modèles d'optimisation et la solution finale gardée par EpiCURA, de nombreux changements ont dû être apportés. Tout d'abord, la cheffe de service du transport a voulu garder un véhicule démarrant à Ath pour assurer l'autonomie de ce site qui est en plein développement et qui risque de devoir lui aussi effectuer de plus en plus de trajets comme porter du matériel médical chez des particuliers qui se font soigner chez eux. Ensuite, il y a tout un tas de petites contraintes qui n'étaient pas exprimables aisément via un modèle mathématique. Nous avons dû effectuer quelques changements afin que toutes ces contraintes soient respectées. Nous avons également proposé notre solution aux collaborateurs du service transport afin qu'ils puissent nous donner leur avis et quelques changements ont été effectués.

Étant donné que tous les véhicules sont différents, certains véhicules ne sont pas adaptés pour visiter certains sites. Nous avons dû nous assurer que tous les sites d'une tournée soient bien accessibles par le véhicule que nous allions assigner.

Une fois que toutes ces contraintes ont été prises en compte, nous avons pu finaliser les nouvelles tournées qui sont disponibles avec la figure 10.

Tournée Camion	Km	Horaire
Epicenter	/	8h
Hornu	1,5	8h30
Baudour	7,6	9h
Beloil	14,3	9h30
Ath	12,4	10h
Frameries	34,7	11h20
Hornu	7,8	11h45
Epicenter	1,4	12h
Baudour	7,2	13h
Ath	25,7	13h45
Beloil	11,9	14h30
Baudour	13,5	15h
Hornu	6,7	15h30
Epicenter	1,4	16h
Total	146,1	

Tournée Labo 1	Km	Horaire
Baudour	/	8h
Dour	13	8h30
Jurbise	27,4	9h15
Baudour	12,7	10h
Epicenter	7,2	10h30
Medecin	7,6	11h
Dour	6	11h30
Appels	/	11h30-12h
Medecin	16,2	12h
Baudour	7	12h45
Hornu	6,7	14h50
Appels	/	14h50-16h
Baudour	7,6	16h
Total	111,4	

Tournée Labo 2	Km	Horaire
Epicentre	/	8h
Hornu	1,5	8h30
Frameries	7,7	9h
Hornu	7,8	9h30
Epicentre	1,4	10h
Home	4,8	10h30
Mons	11,9	11h
Appels	/	11h-12h45
IMS	11,6	12h45
Hornu	1	13h30
Frameries	7,7	14h
Appels	/	14h-16h
Epicentre	8,2	16h
Total	63,6	

Tournée Ath	Km	Horaire
Ath	/	8h
Enghien	19,3	8h30
Ath	19,4	9h
Interne/Appel	/	9h15 - 13h
Ath	/	13h15
Enghien	19,3	13h45
Ath	19,4	14h15
Interne/Appel	/	14h30 - 16h
Total	77,4	

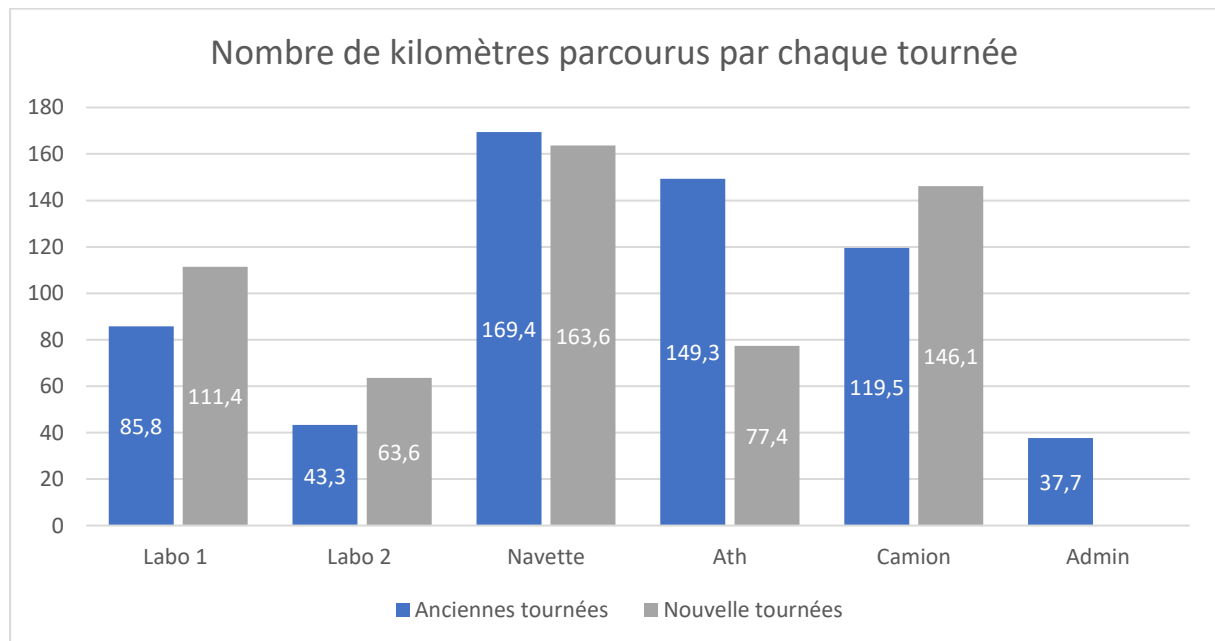
Figure 10 - Nouvelles tournées pour le service transport d'EpiCURA

A ces 4 tournées, nous devons rajouter la « navette » dont nous avons parlé plus tôt dans ce mémoire. Cette 5^e tournée n'a pas été optimisée car elle ne pouvait pas changer afin de ne pas impacter des services critiques du centre hospitalier. La figure 11 montre le détail de la tournée « Navette ».

Tournée navette	Km	Horaire
Baudour	/	7h
Hornu	6,7	7h10 - 7h20
Frameries	7,7	7h40 - 8h
Hornu	7,8	8h20 - 8h40
Baudour	7,6	9h - 9h20
Frameries	10,6	9h40 - 10h
Hornu	7,8	10h20 - 10h40
Baudour	7,6	11h - 11h20
Frameries	10,6	11h40 - 12h
Hornu	7,8	12h20 - 12h40
Baudour	7,6	13h - 13h20
Frameries	10,6	13h40 - 14h
Hornu	7,8	14h20 - 14h40
Baudour	7,6	15h - 15h20
Frameries	10,6	15h40 - 16h
Hornu	7,8	16h20 - 16h40
Baudour	7,6	17h - 17h10
Hornu	6,7	17h30
Frameries	7,7	17h45 - 18h
Hornu	7,8	18h20 - 18h30
Baudour	7,6	18h36
Total	163,6	

Figure 11 - Tournée navette d'EpiCURA

Nous avons donc 5 tournées au lieu de 6 avant optimisation. Nous allons donc pouvoir économiser le coût d'un véhicule grâce à ces nouvelles tournées. Les nouvelles tournées totalisent 562,1 kilomètres contre 603,5 anciennement. La diminution du nombre de kilomètres parcourus est limitée, car comme nous l'avons déjà dit, de nombreux sites doivent être visités plusieurs fois durant la journée à des heures différentes ce qui oblige des trajets spécifiques à chaque fois. Cependant, nous sommes en mesure de diminuer le nombre de kilomètres de 7 %, soit 42 kilomètres.



Graphique 2 - Nombre de kilomètres parcourus par chaque tournée

Comme le montre ce deuxième graphique, trois tournées parcourront davantage de kilomètres tandis que deux verront leur quantité de kilomètres à parcourir diminuer. Une tournée disparaîtra au profit d'une nouvelle tournée ultérieurement.

2 Reprise d'activités sous-traitées

Comme dit précédemment, les nouvelles tournées utilisent 5 véhicules, cela veut dire qu'un dernier véhicule est complètement disponible la journée et pourrait reprendre certains des transports sous-traités par une société.

Ces transports relient le laboratoire de Baudour au laboratoire d'Hornu à heure fixe toute la journée. 19 transports sont effectués par jour du lundi au vendredi. Tous les transports sous-traités sont repris dans le visuel qui se trouve en annexe 5. Le choix a été fait de reprendre 11 trajets sur la journée.

Ces trajets devront être effectués par le véhicule qui est disponible toute la journée. Pour que cela soit possible, il est nécessaire d'adapter les tournées internes sur le site de Baudour. D'importants changements vont être apportés pour les transporteurs commençant à Baudour afin que la reprise des transports sous-traités par TPMS soit possible.

Au niveau du véhicule qui est disponible, il effectuera 8 trajets sur les 11 qui seront internalisés. Les 3 derniers trajets seront effectués par d'autres véhicules, car ils doivent de toute manière effectuer le trajet Baudour → Hornu dans leurs tournées.

3 Analyse du coût du transport

Il est important d'avoir une bonne estimation de ce que coûte le transport de choses dans sa globalité pour savoir si les changements que nous effectuons sont économiquement utiles ou non.

Actuellement, le service du transport de choses d'EpiCURA compte 15,4 ETP (équivalent temps plein). En 2020, le coût d'un chauffeur en ETP (incluant tous les coûts liés à ce profil) était de 32 096 €. Le coût total pour 15,4 ETP en 2020 est donc de 494 278 €. Cela représente de loin le coût le plus important du service transport.

Nous devons également estimer le coût de la flotte de véhicules à disposition d'EpiCURA. Les véhicules sont des véhicules loués sous un contrat de leasing. Les coûts d'assurances et d'entretiens du véhicule sont compris dans le contrat de leasing. Seul le carburant n'est pas compris dans ce type de contrat (« Association belge de Leasing », 2021). Pour estimer le coût de cette flotte de véhicule, nous avons effectué une analyse en reprenant des données d'avril 2019 à mars 2020 afin d'obtenir des résultats non biaisés par la crise du coronavirus.

Données de avril 2019 à mars 2020							
Véhicule	Leasing(€/mois)	Coût essence	Coût total	KM Leasing	KM Fait	Différence/KM	Récupération/An
1-UQJ-122	449,60 €	315,82 €	765,42 €	45000	30000	0,0310 €	465,00 €
1-UQJ-128	449,60 €	182,70 €	632,30 €	45000	25000	0,0310 €	620,00 €
1-SLD-203	742,57 €	403,91 €	1.146,48 €	43000	41000	0,0484 €	96,80 €
1-YDK-154	401,04 €	211,87 €	612,91 €	35000	32000	0,0203 €	60,90 €
1-PTG-828	886,72 €	339,86 €	1.226,58 €	40000	33000	0,0495 €	346,50 €
1-JLY-760	571,40 €	162,66 €	734,06 €	30000	13000	0,0513 €	872,10 €
						TOTAL AN	58.951,70 €
						TOTAL MOIS	4.912,64 €
						TOTAL JOUR	233,94 €
						TOTAL JOUR/VEH	38,99 €

Figure 12 - Données de la flotte de véhicules d'EpiCURA

La figure 12 détaille le coût de chaque véhicule. Elle indique le coût du leasing et le coût estimé de l'essence par mois. Cela nous permet d'estimer le coût total par an que représente la flotte de véhicules.

Le coût total de la flotte est donc de près de 59 000 €. En divisant par 12 nous obtenons le coût par mois et en divisant le coût annuel par 252 car il y a 252 jours ouvrables entre le 01/04/2019 et le 31/03/2020, nous obtenons le coût total journalier. Chaque véhicule coûte donc 38,99 € par jour en moyenne.

La figure 13 veille à mieux différencier les coûts fixes des coûts variables pour la flotte de véhicules.

Véhicule	Leasing/Mois	CF Jour	Consommation	Prix Diesel	Cout KM
1-UQJ-122	449,60 €	21,41 €	5,92	1,365 €	0,081 €
1-UQJ-128	449,60 €	21,41 €	5,93	1,365 €	0,081 €
1-SLD-203	742,57 €	35,36 €	8,48	1,365 €	0,116 €
1-YDK-154	401,04 €	19,10 €	5,84	1,365 €	0,080 €
1-PTG-828	886,72 €	42,22 €	11,54	1,365 €	0,158 €
1-JLY-760	571,40 €	27,21 €	10,90	1,365 €	0,149 €
Groupé	3.500,93 €	166,71 €	8,10	1,365 €	0,111 €

Figure 13 - Coûts fixes et variables des véhicules d'EpiCURA

En reprenant le coût du leasing par mois et en le divisant par 21 nous obtenons le coût fixe par jour d'un véhicule. En approchant la consommation moyenne des véhicules et en utilisant le prix moyen du diesel durant la période donnée nous obtenons le coût d'un kilomètre parcouru.

3.1 Coût du sous-traitant

Étant donné qu'une partie des transports sous-traités (les transports de prélèvements pour le laboratoire entre Baudour et Hornu) souhaitent être repris par le service de transports de choses d'EpiCURA, il est également intéressant de quantifier le coût de ces trajets.

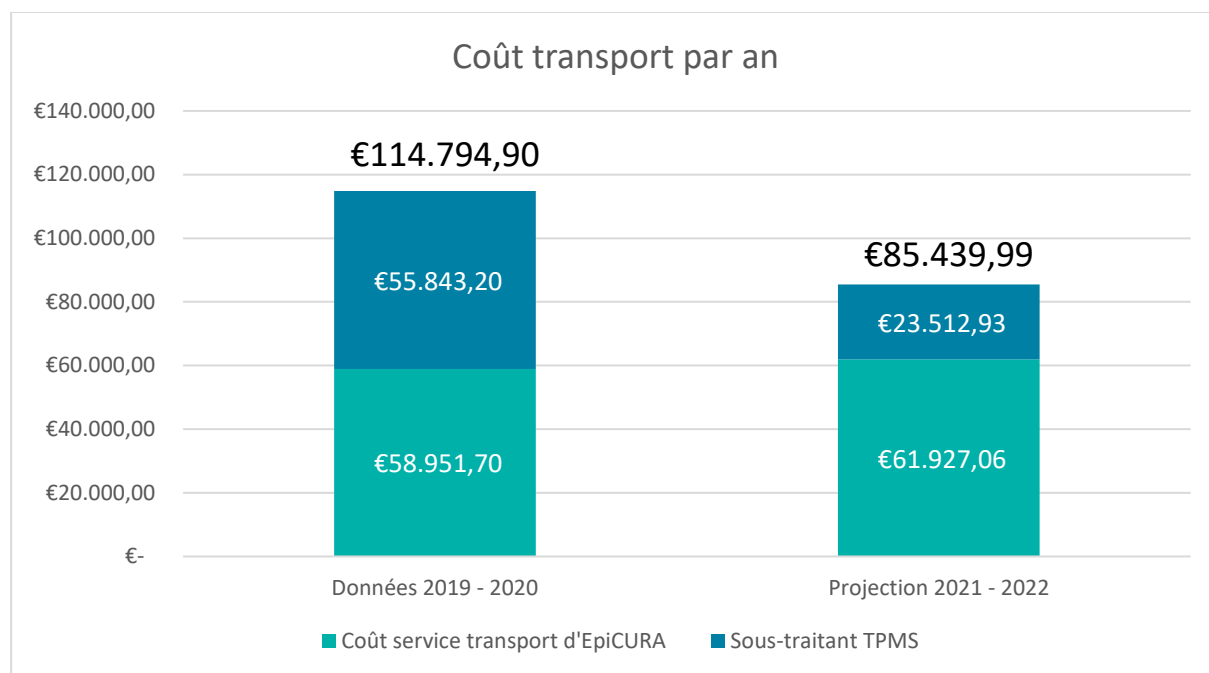
Le coût du sous-traitant par an s'élève à 55 843 € par an sachant que 19 trajets sont effectués par jour et que le coût d'un trajet est de 11,66 €.

En reprenant 11 des 19 trajets effectués, EpiCURA pourrait économiser un total de 30 324,21 € sans prendre en compte les augmentations de coûts que pourrait imposer TPMS pour compenser cette perte et également sans prendre en compte l'augmentation du nombre de kilomètres effectués par les chauffeurs d'EpiCURA.

Le coût total du service transport en comptant la flotte de véhicules d'EpiCURA et le coût du sous-traitant s'élève à 114 875 €.

4 Coût du transport avec nouvelles tournées et internalisation

Le 3^{ème} graphique montre la différence du coût du transport par an entre 2019-2020 et 2021-2022. En 2019, le coût estimé était de 114 794 €. Le coût attendu pour l'année 2021-2022 est de 85 439 €. Cela représente une diminution du coût du service transport de près de 29 355 €, soit une diminution non négligeable de 25,57 %.



Graphique 3 - Coût total du service transport par an

Cette projection de coût est obtenue en cumulant le coût des nouvelles tournées créées par le logiciel d'optimisation et en rajoutant le véhicule qui reprend l'activité sous-traitée.

Le graphique 2 qui montre le nombre de kilomètres parcourus par chaque tournée doit être revu pour intégrer le nombre de kilomètres parcourus par le véhicule qui reprend les transports qui étaient auparavant sous-traités.

La tournée « Admin » est donc remplacée par la nouvelle tournée qui effectue 114,4 kilomètres par jour, les autres tournées restent inchangées. Le nombre total de kilomètres parcourus s'élève maintenant à 676,5 contre 603,5 avant. Cela représente alors une augmentation de 72,5 kilomètres par jour par rapport à la situation de 2019, soit +/- 12,1 %.

Avec ces nouvelles tournées, le coût lié au service transport a également dû être revu.

Projection de mai 2021 à avril 2022					
Tournées	Véhicule	Leasing(€/mois)	Coût essence	Coût total/mois	Coût total/an
Labo 1	1-UQJ-122	449,60 €	206,82 €	656,42 €	7.877,06 €
TPMS	1-UQJ-128	449,60 €	194,13 €	643,73 €	7.724,80 €
Navette	1-SLD-203	742,57 €	371,37 €	1.113,94 €	13.367,29 €
Ath	1-YDK-154	401,04 €	129,69 €	530,73 €	6.368,76 €
Camion	1-PTG-828	886,72 €	483,43 €	1.370,15 €	16.441,74 €
Labo 2	2-ACX-553	458,59 €	145,85 €	604,44 €	7.253,25 €
TOTAL AN					59.032,91 €
TOTAL MOIS					4.919,41 €
TOTAL JOUR					234,26 €
TOTAL JOUR/VEH					39,04 €

Figure 14 - Projection des coûts des véhicules d'EpiCURA en 2021-2022

La figure 14 montre une projection des coûts des véhicules pour l'année 2021-2022. Un changement apporté par rapport aux données de 2019-2020 est que certains véhicules ont été remplacés par d'autres moins consommateurs de carburant et ayant un contrat de leasing moins cher.

Ce coût de 59 032 € ne prend pas en compte les médecins et homes qui peuvent demander des transports supplémentaires pour leurs prélèvements. Pour essayer de prendre en compte cette demande incertaine et variable, une majoration de 50 % du coût d'essence est effectuée. Le coût s'élève alors à un total de 61 927 €.

Il faut également rajouter le coût de l'activité sous-traitée, celle-ci sera de 23 512 € pour 2021-2022 contre 58 951 € en 2019-2020. Le coût total du transport en 2021-2022 s'élève donc à 85 439 €.

Il est également nécessaire de prendre en compte un autre élément dans notre analyse de coût. En effet, des chauffeurs peuvent tomber malade et s'il y a trop de malades pendant une période, il faut alors faire appel à une société pour remplacer ces chauffeurs. Le remplacement sera effectué sur la nouvelle tournée de prélèvements et la société qui s'occupe de remplacer les chauffeurs malades facture 201,7 euros par jour un remplacement de chauffeur. Certains appels de médecins ou de homes devront également être sous-traités. Le coût appliqué est de 0,72 € par kilomètre parcouru.

Si l'on considère que des remplacements doivent être effectués pour un total d'un 1 mois par an, on obtient un coût lié aux remplacements des chauffeurs à hauteur de 4235,7 € plus le coût des trajets effectués par la société qui sous-traite cette activité. Ce coût doit s'ajouter au coût lié au service transport.

4.1 Analyse du coût à la suite d'une centralisation

Comme nous l'avons déjà évoqué dans ce mémoire, un des projets à court terme est de centraliser l'économat sur le site de Baudour et la pharmacie sur le site d'Hornu. Cela implique un nouveau calcul du coût.

Projection de coût					
Tournées	Véhicule	Leasing(€/mois)	Coût essence	Coût total/mois	Coût total/an
Labo 1	Berlingo	449,60 €	149,86 €	599,46 €	7.193,49 €
TPMS	Camionnette avec hayon	886,72 €	194,13 €	1.080,85 €	12.970,24 €
Navette	Mercedes Vito	742,57 €	371,37 €	1.113,94 €	13.367,29 €
Ath	Opel Combo	401,04 €	129,69 €	530,73 €	6.368,76 €
Multisites	Ford Transit	458,59 €	335,04 €	793,63 €	9.523,52 €
Labo 2	Berlingo	449,60 €	132,93 €	582,53 €	6.990,32 €
Economat	Camion	886,72 €	104,53 €	991,25 €	11.895,01 €
TOTAL AN					68.308,64 €
TOTAL MOIS					5.692,39 €
TOTAL JOUR					271,07 €
TOTAL JOUR/VEH					38,72 €

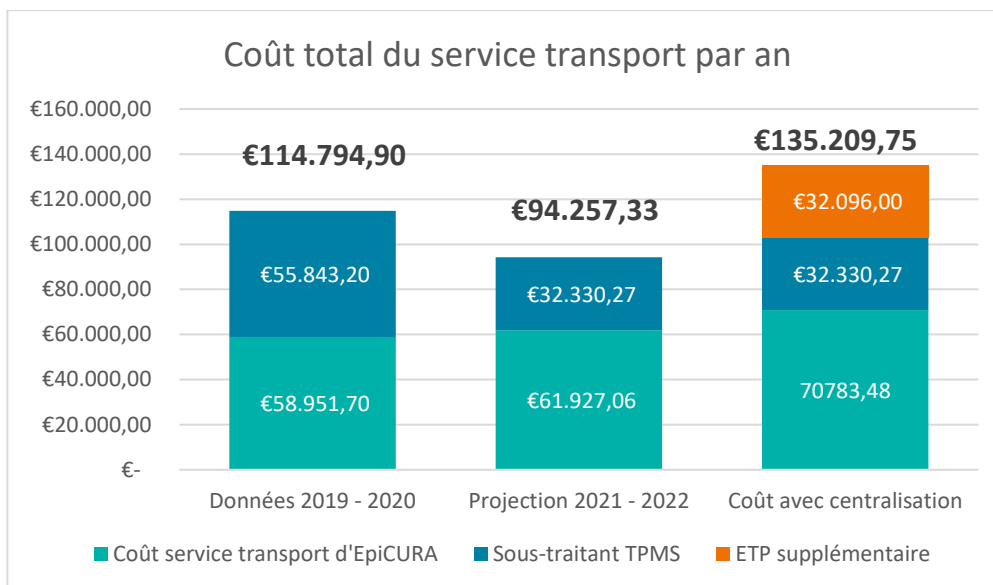
Figure 15 - coût des véhicules à la suite d'une centralisation

La figure 15 montre le coût du transport recalculé en vue d'une centralisation. Un véhicule supplémentaire est nécessaire pour assurer le transport de l'économat et de la pharmacie. Les différents coûts d'essence ont également été revus.

Pour approximer les coûts liés aux appels des différents homes et médecins qui ne sont pas repris dans les tournées fixes, nous avons majoré les coûts d'essence de 50 % des véhicules qui sont susceptibles de prendre ces demandes. Le coût total s'élève alors à environ 70 783,48 €.

Afin que la centralisation de l'économat à Baudour et de la pharmacie à Hornu soit possible, il sera sans doute nécessaire d'engager une personne supplémentaire dans le service transport pour que celle-ci puisse livrer l'économat et la pharmacie. Un ETP supplémentaire coûte 32 096 €.

Une centralisation impliquerait au niveau du service transport, comme le montre le graphique n° 4, une augmentation des coûts de 40 952 € par rapport à l'année 2020-2021.



Graphique 4 - Coût total du service transport par an avec centralisation

5 Autres internalisations possibles

Deux autres analyses ont été menées sur des transports qui sont actuellement sous-traités par une société et qui pourraient potentiellement être repris par l'hôpital. Il s'agit ici de navettes oncologiques entre Baudour et Hornu et également entre Baudour et Ath. Une navette part de Baudour et se rend soit à Hornu soit à Ath, selon le type de navette.

Sur la figure 16 ci-dessous, nous pouvons constater que 6 trajets par semaine sont organisés d'office du départ de Baudour vers Hornu. 5 trajets par semaine sont organisés pour relier Baudour à Ath. Les autres horaires en vert sont des trajets qui peuvent se faire sur demande si un service a absolument besoin d'un transport.

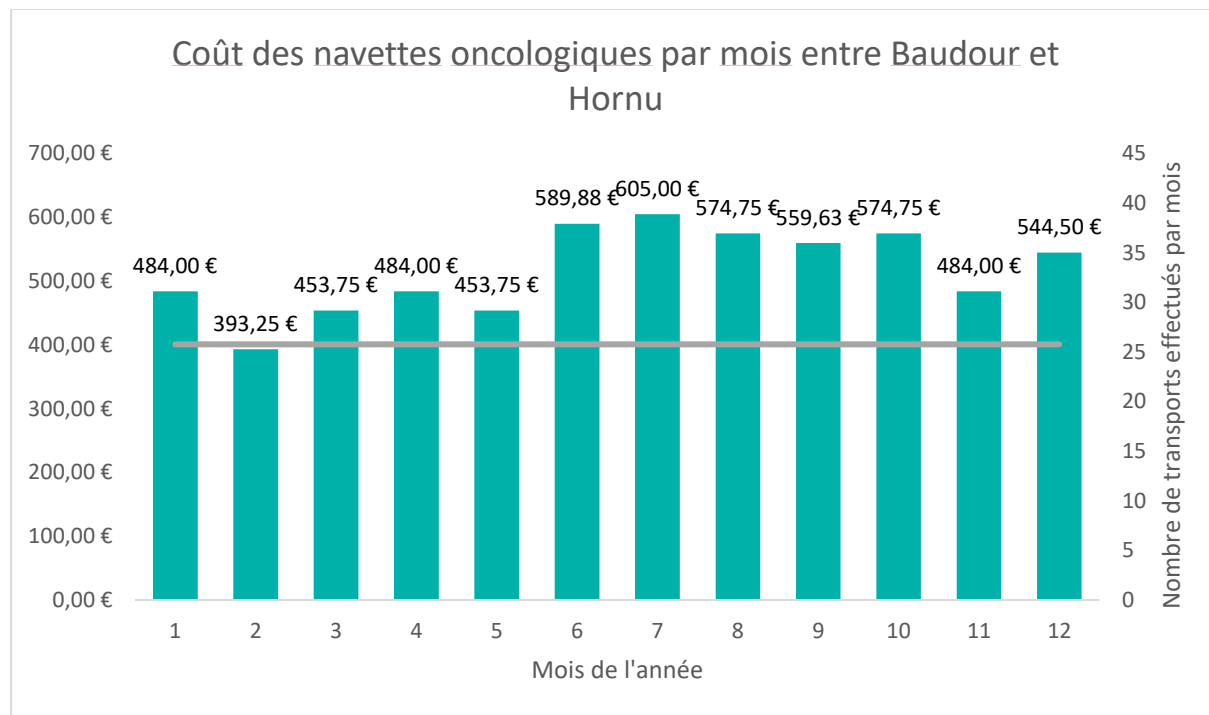
Détail des prestations à réaliser pour le transport de la navette Onco (transport de produits pharmaceutique) :

⇒ Tableau reprenant les jours des transports, les heures de prise en charge et le site d'enlèvement :

DESTINATION	HORAIRE DEPARTS DES NAVETTES A PARTIR DE BAUDOUR				
	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENREDI
HU	9h45	9h45	9h45	9h45	9h45
AH	10h00	10h00	10h00	10h00	10h00
HU	11h30	11h	11h30	11h	11h
AH	11h	11h	11h	11h	11h
HU	12h30	12h	12h30	12h	12h
AH	13h	13h	13h	13h	13h
HU	13h	13h30	13h30	13h30	13h30
HU				15h00	
AH	16h	16h	16h	16h	16h
	D'office		Sur demande (prévenir au plus tard 30 à l'avance)		

Figure 16 - Horaire de transport de la navette oncologique

Pour les trajets Baudour vers Hornu, l'hôpital serait en mesure de reprendre tous les trajets qui s'effectuent d'office ainsi que tous les trajets qui peuvent se faire sur demande car il y aura un véhicule qui effectuera sans cesse des aller-retour entre Baudour et Hornu durant la journée. Nous avons donc calculé le coût de ces transports grâce aux données de l'année 2020.

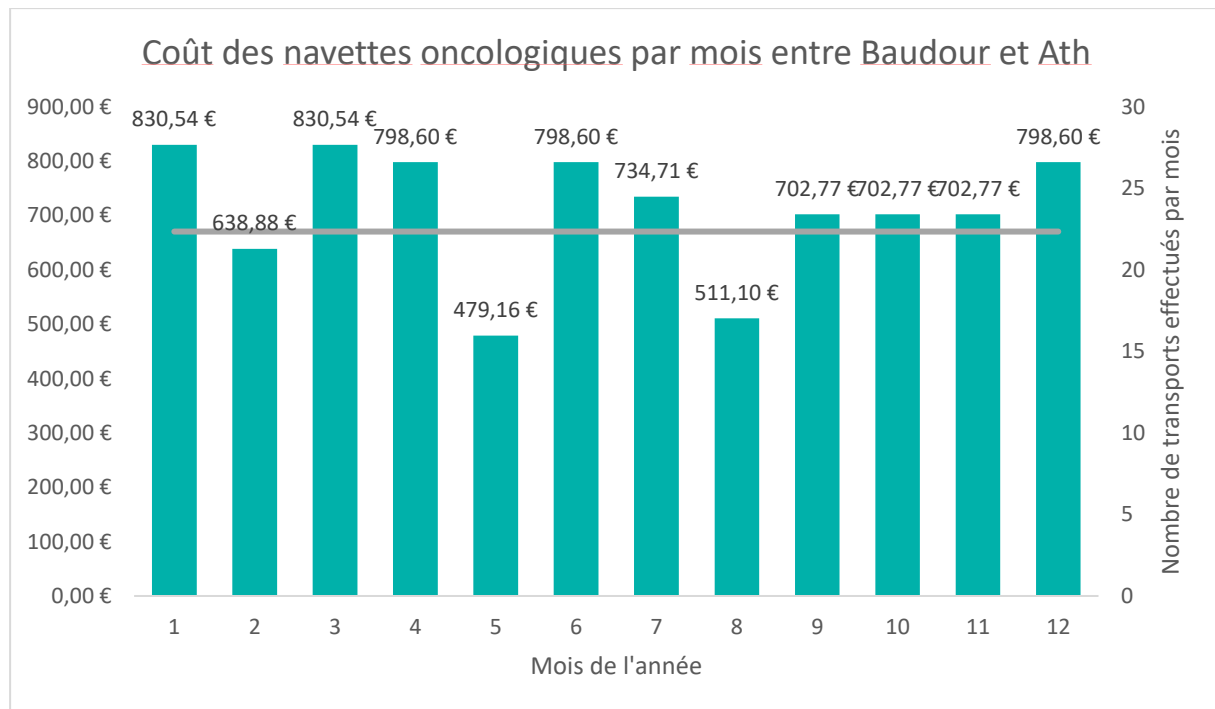


Graphique 5 - Coût des navettes oncologiques par mois entre Baudour et Hornu

Sur le graphique n° 5, la barre grise représente le coût moyen attendu par mois sachant qu'il y a entre 24 et 29 transports qui sont effectués d'office par mois et que le reste se fait sur demande. Quand le bâtonnet vert dépasse la barre horizontale grise, c'est que le service a fait appel à des transports supplémentaires.

Le coût total lié aux navettes oncologiques entre Baudour et Hornu s'élève à 6201,26 € pour l'année 2020 et l'intégralité de cette activité pourrait être internalisée par l'hôpital. La seule prérogative est qu'il faudrait inviter les chauffeurs à passer une formation ADR (Accord for dangerous goods by road). L'objectif de cette formation ADR est « d'encadrer le transport des matières et produits dangereux afin de sécuriser leur transit par voies terrestres » (Accord for dangerous goods by road), 2019).

La même analyse a été réalisée pour les navettes oncologiques de Baudour à Ath. Nous avons donc calculé le coût de ces transports grâce aux données de l'année 2020.



Graphique 6 - Coût des navettes oncologiques par mois entre Baudour et Ath

Sur le graphique n° 6, la barre grise représente le coût moyen attendu par mois. Il y a entre 20 et 22 transports qui sont effectués d'office par mois, le reste se fait sur demande. Quand le bâtonnet vert dépasse la barre horizontale grise, c'est que le service a fait appel à des transports supplémentaires. Le coût total lié aux navettes oncologiques entre Baudour et Ath s'élève à 8049,85 € pour l'année 2020.

Prendre tous les trajets sera ici plus compliqué car il n'existe pas de liaison directe entre Baudour et Ath dans les nouvelles tournées.

Cependant, si la charge de travail des collaborateurs du service transport se situant sur le site d'Ath le permet, alors un chauffeur pourrait effectuer un aller-retour par jour pour aller jusque Baudour, prendre le matériel nécessaire et ensuite retourner sur le site d'Ath.

Sachant qu'un trajet par jour coûte 26,2 € et qu'il y a 252 jours ouvrables par an, l'hôpital pourrait réaliser une économie de 6602,4 €. A cela il faut retirer le coût en carburant qu'un aller-retour Ath Baudour va coûter. Soit 50 km multipliés par 11,1 cents du kilomètre, 5,55 € par trajet.

L'hôpital pourrait donc économiser un total de 5203,8 € en prenant en compte les frais de carburant. Les autres transports sur demande seront toujours réalisés par un sous-traitant.

En revanche, si la charge de travail qui pèse sur les collaborateurs du site d'Ath est déjà importante et qu'il faut engager un mi-temps supplémentaire pour effectuer les transports, la

reprise de cette activité n'est plus du tout rentable. Effectivement, engager ne fût-ce qu'un mi-temps coûterait à l'hôpital 16 048 € et celui-ci perdrait alors aux changes un total de 10 844,2 €.

6 Le futur du service transport

Le futur du service transport d'EpiCURA est loin d'être morose. En effet comme nous l'avons expliqué durant ce mémoire, de nouveaux projets sont en cours dans le département logistique, ce qui va probablement créer du travail pour le service transport.

Les nouvelles tournées seront mises en place au mois de septembre, ce qui permettra de reprendre une partie des activités actuellement sous-traitées par l'hôpital, ce qui va également créer une charge de travail supplémentaire dans le service transport.

Nous pouvons donc constater que le service transport se porte bien. L'internalisation d'activités est positive à deux niveaux car d'une part, elle témoigne d'une confiance de la direction envers les collaborateurs du service transport qui sont jugés assez compétents pour reprendre le travail sous-traité. D'autre part, elle permet de se prémunir de tout risque que pourrait représenter la société sous-traitante. La main d'œuvre est présente en suffisance, ce qui permet l'internalisation de quelques activités sans pour autant prendre le risque d'en demander trop aux collaborateurs du service.

EpiCURA possède également 3 laboratoires. Deux laboratoires sont prévus pour analyser des prélèvements sanguins et un troisième est prévu pour analyser des anomalies pathologiques. Ces laboratoires analysent évidemment tous les prélèvements venant des sites appartenant à EpiCURA. Mais nous avons vu durant ce mémoire qu'il faut chaque jour aller chercher des prélèvements chez des médecins à domicile, des homes... En effet, EpiCURA a établi un modèle d'affaires en rendant disponibles ses laboratoires pour analyser des prélèvements externes. Les externes ayant besoin d'une analyse de prélèvements font appel à EpiCURA et celui-ci envoie un collaborateur du service transport aller chercher les prélèvements chez les clients pour le porter au laboratoire le plus proche. EpiCURA facture ensuite l'analyse des prélèvements au client.

Ce modèle d'affaires rencontre un succès grandissant, de plus en plus de médecins à domicile et de homes travaillent avec le centre hospitalier pour faire analyser leurs prélèvements rapidement. Nous pouvons donc aisément conclure que le transport de prélèvements va s'accroître dans les mois et années à venir ce qui va augmenter le travail à effectuer du service transport. Il serait sans doute opportun d'optimiser le trajet de ramassage journalier des prélèvements d'ici quelques mois/années si celui-ci continue à évoluer. Il faudra sans doute

utiliser plus régulièrement des logiciels d'analyse de données pour déterminer quelle sera la tendance précise du transport dans le futur et aider l'hôpital à prendre les bonnes décisions pour le service transport.

Enfin, les séjours à l'hôpital sont de plus en plus courts et cette tendance va s'accroître dans les années à venir. Le patient va aller à l'hôpital pour se faire opérer et pourra ensuite directement rentrer chez lui et se faire soigner chez lui. Les soins à la maison nécessitent que du matériel spécifique soit apporté chez le patient pour qu'il soit soigné le plus efficacement possible. Le service transport pourra être en charge d'apporter ce matériel aux différents patients. C'est par exemple déjà le cas sur le site d'Ath où de temps en temps, un collaborateur doit apporter du matériel chez un patient qui se soigne à domicile. Ce type de transport est pour l'instant uniquement organisé sur le site d'Ath et de manière irrégulière, mais il est certain que cette tendance va augmenter dans les années à venir.

Finalement, il est difficile de prédire avec exactitude comment va évoluer le transport au sein d'EpiCURA. À court terme, la demande de transport ne va pas augmenter ou diminuer drastiquement. Les réformes et projets vont s'appliquer, mais cela ne modifiera pas profondément le service transport. À long terme, des tendances claires se profilent à l'horizon et laissent présager une lente, mais continue augmentation des besoins de transport. Cette demande de transport ne viendra pas des sites appartenant à EpiCURA, mais bien d'entités externes qui voudront utiliser la capacité d'analyse de prélèvements des laboratoires ou encore recevoir du matériel afin de pouvoir se faire soigner chez eux.

7 Synthèse

Cette dernière partie concernant l'analyse managériale de l'entreprise EpiCURA a apporté quelques éléments intéressants.

En effet, en couplant les nouvelles tournées obtenues grâce à l'optimisation mathématique avec une reprise d'une partie des activités de transport sous-traitées par l'hôpital, nous arrivons à diminuer le coût du service transport de près de 30 000 €. Cela représente une différence de 25.57 %.

Nous continuons notre analyse en calculant le nouveau coût du service transport si l'hôpital était amené à vivre une centralisation de ses lieux de stockages. Cette centralisation, même si elle pourrait être avantageuse dans bien des situations, serait relativement chère à supporter pour le service transport. En effet, cela représenterait une augmentation du coût du service de plus de 40 000 €.

Deux autres petites études ont été menées pour évaluer la faisabilité d'internaliser d'autres activités de transport sous-traitées par l'hôpital. Il en ressort qu'une des deux activités pourrait sans trop de problèmes être reprise par le service transport. Cela permettrait de réaliser une économie supplémentaire de 6200 € ce qui est non négligeable au vu des changements à apporter pour économiser cette somme.

Enfin nous terminons cette partie en évoquant le futur à court et long terme du centre hospitalier et plus particulièrement du service transport. Même s'il est difficile de prévoir avec exactitude comment va évoluer le transport, une multitude d'indicateurs semblent montrer que le transport va continuer à se développer au fil des mois et années à venir.

Conclusion

Ce mémoire avait pour objet d'essayer d'optimiser le transport externe de choses au sein du centre hospitalier d'EpiCURA. Ce travail était dès lors un travail d'optimisation de la chaîne logistique d'une entreprise et s'inscrit dans le cadre de la recherche opérationnelle.

Nous avons commencé ce travail par une synthèse de la littérature afin de correctement contextualiser la problématique de ce mémoire. C'est par ce biais que nous avons abordé différents problèmes de routage existant. Nous avons commencé par le problème le plus connu, à savoir le problème du voyageur de commerce. Nous avons ensuite continué notre synthèse de la littérature en découvrant une multitude de problèmes découlant du voyageur de commerce. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux problèmes de tournées de véhicules de manière générale.

Dans la seconde partie de ce travail, nous nous sommes concentrés en premier lieu sur la présentation détaillée de l'entreprise ainsi qu'à la fine compréhension du fonctionnement de la logistique. Après cela, nous avons présenté de manière complète les modèles utilisés durant ce mémoire. Une fois les modèles explicités, nous nous sommes attelés à analyser les différents résultats obtenus par ceux-ci.

Les résultats obtenus par les modèles créés précédemment montrent que l'optimisation via un modèle mathématique et un logiciel dédié constitue un attrait non négligeable dans la logistique moderne. Le modèle le plus robuste permet de diminuer le nombre de kilomètres parcourus de 12 à 17 % et permet également de réduire le temps de parcours minimum requis de 26 à 32 %. Un des modèles parvient même à obtenir une solution optimale pour un cas spécifique.

La dernière partie de ce travail traite d'une analyse managériale de l'entreprise. Nous avons calculé le coût du service transport pour l'année précédente. La mise en place des nouvelles tournées optimisées couplées avec une internalisation d'activités sous-traitées va permettre à l'entreprise de diminuer les dépenses du transport externes de 25,6 %. Une hypothèse de centralisation est étudiée ainsi que deux autres études concernant des internalisations possibles. Le futur du service transport est également abordé et indique que le transport au sein de l'entreprise va continuer à se développer.

Finalement, ce mémoire a permis d'optimiser les transports intersites du centre hospitalier EpiCURA. Nous espérons que ce travail pourra servir à d'autres entreprises désireuses d'améliorer leur logistique en utilisant des modèles semblables à ceux présentés dans ce travail.

Références

- ADR : définition simple et traduction. (2019, septembre 24). Consulté 14 mai 2021, à l'adresse <https://www.journaldunet.fr/business/dictionnaire-comptable-et-fiscal/1445090-adr-accord-for-dangerous-goods-by-road-definition-simple-et-traduction/>
- Aouadj, A. (2019). *Résolution du problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps* (PhD Thesis). FACULTE MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE DEPARTEMENT INFORMATIQUE-DOMAINES ...
- Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., & Cook, W. J. (2011). *The traveling salesman problem*. Princeton university press. Consulté à l'adresse https://www.ceas3.uc.edu/ret/archive/2017/ret/docs/readings/Project%203/Project%203_Introduction%20to%20TSP.pdf
- Association belge de Leasing. (2021). Consulté 14 mai 2021, à l'adresse <https://www.blv-abl.be/fr/propos-du-leasing/les-differents-types-de-leasing>
- Azi, N. (2010). *Méthodes exactes et heuristiques pour le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps et réutilisation de véhicules*. Consulté à l'adresse <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/4876>
- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2010). An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research*, 202(3), 756-763.
- Baldacci, R., Bartolini, E., Mingozzi, A., & Valletta, A. (2011). An exact algorithm for the period routing problem. *Operations research*, 59(1), 228-241.
- Baldacci, R., Mingozzi, A., & Roberti, R. (2012). Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints. *European Journal of Operational Research*, 218(1), 1-6.
- Baudoux, L. (2018). *Collaboration de solveurs du problème de tournées de véhicules* (Université catholique de Louvain). Université catholique de Louvain. Consulté à l'adresse <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:17209>
- Briançon, S., Guérin, G., & Sandrin-Berthon, B. (2010). Les maladies chroniques. *Doc Fr Adsp*, 72, 11-53.
- Cantanzaro, D. (2018). *Optimisation*.

- Caspar, N., Leclerc, B., & Monjardet, B. (2007). *Ensembles ordonnés finis : Concepts, résultats et usages* (Vol. 60). Springer.
- Centrale des bilans. (2019, décembre 31). BNB - Centrale des bilans. Consulté 28 février 2021, à l'adresse Centrale des bilans—Consultation en ligne des comptes annuels website : <https://cri.nbb.be/bc9/web/catalog;jsessionid=70EFB2DD7D76D7DF0F6C62282496B4FB?execution=e1s2>
- Chabot, T. (2015). *Résolution des problèmes de tournées de véhicules pour le transport des échantillons biomédicaux au Québec*.
- Chabrier, A. (2006). Vehicle routing problem with elementary shortest path based column generation. *Computers & Operations Research*, 33(10), 2972-2990.
- Charette, M. (2018). *Compétences d'infirmiers nouvellement diplômés d'un programme de baccalauréat basé sur l'approche par compétences : Une ethnographie ciblée d'un milieu de soins aigus*. 36-37.
- Choi, E., & Tcha, D.-W. (2007). A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 34(7), 2080-2095.
- Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1981). Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. *Mathematical programming*, 20(1), 255-282. <https://doi.org/10.1007/BF01589353>
- Cordeau, Jean-François, Gendreau, M., & Laporte, G. (1997). A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks: An International Journal*, 30(2), 105-119.
- Cordeau, Jean-François, & Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (Montréal, Q. (2000). *The VRP with time windows*. Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions Montréal.
- Cordier, F., & Tancrez, J.-S. (2020). *Amélioration du processus de livraison d'Eat's Local* (Université catholique de Louvain). Université catholique de Louvain. Consulté à l'adresse <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:25977>
- Desaulniers, G., Desrosiers, J., Erdmann, A., Solomon, M. M., & Soumis, F. (2002). VRP with Pickup and Delivery. *The vehicle routing problem*, 9, 225-242.

- Dodge, Y., & Gonano-Weber, S. (2005). *Optimisation appliquée*. Paris : Springer. Consulté à l'adresse <https://opac.unamur.be/opac/unamur/chamo/chamo:965951>
- EpiCURA. (2019, avril 25). *Réseau Phare*. Consulté à l'adresse http://www.epicura.be/images/EpiCURA/PDF/Reseau_PHARE_DP.pdf
- EpiCURA. (2021a). Crescendo EpiCURA. Consulté 15 février 2021, à l'adresse Accueil website : <http://crescendo.epicura.be/>
- EpiCURA. (2021b). Consulté 15 février 2021, à l'adresse EpiCURA website : <http://www.epicura.be/footer/historique>
- EpiCURA. (2021c). *Organigramme du département logistique*.
- Équivalent temps plein. (2020). In *Wikipédia*. Consulté à l'adresse https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89equivalent_temps_plein&oldid=175028190
- Fortz, B., & Thorup, M. (2003). Robust optimization of OSPF/IS-IS weights. *Proc. INOC*, 20, 225-230.
- Francis, P. M., Smilowitz, K. R., & Tzur, M. (2008). The period vehicle routing problem and its extensions. In *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges* (p. 73-102). Springer.
- Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., & Taillard, É. D. (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 26(12), 1153-1173.
- Golden, B., Raghavan, S., & Wasil, E. (2008). The Vehicle Routing Problem : Latest Advances and New Challenges. In B. Golden, S. Raghavan, & E. Wasil, *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series* (Vol. 43). Boston, MA: Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8>
- Haiyan, H. (2005). *Une approche génétique pour la résolution du problème VRPTW dynamique* (PhD Thesis). Université d'Artois.
- Haouari, M., Dejax, P., & Desrochers, M. (1990). Les problèmes de tournées avec contraintes de fenêtres de temps, l'état de l'art. *RAIRO-Operations Research*, 24(3), 217-244.
- Héran, F. (2009). Des distances à vol d'oiseau aux distances réelles ou de l'origine des détours. *Flux*, 76-77(2-3), 110-121. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/flux.076.0110>

- Ho, W., Ho, G. T., Ji, P., & Lau, H. C. (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering applications of artificial intelligence*, 21(4), 548-557.
- Irnich, S., & Villeneuve, D. (2006). The shortest-path problem with resource constraints and k-cycle elimination for $k \geq 3$. *INFORMS Journal on Computing*, 18(3), 391-406.
- karlomexico. (2014, avril 10). Vehicle Routing Problem : It's there a perfect solution? Consulté 8 mai 2021, à l'adresse The blog of Logistics at MGEPS at UPV website : <https://logisticsmgepsupv.wordpress.com/2014/04/10/vehicle-routing-problem-its-there-a-perfect-solution/>
- Kirmi, B., & Chahouati, W. (2019). Le changement dans le milieu hospitalier : Revue de la littérature et proposition d'un modèle de changement par une démarche Qualité. *Revue du Contrôle de la Comptabilité et de l'Audit*.
- Korte, B. H., & Vygen, J. (2008). *Combinatorial optimization : Theory and algorithms* (4th éd., Vol. 21). Berlin : Springer. Consulté à l'adresse <https://bib.uclouvain.be/opac/boreal/chamo/chamo:1414190>
- Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). *A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants*. 2012. <https://doi.org/10.4236/iim.2012.43010>
- Laporte, G. (2010). A concise guide to the traveling salesman problem. *Journal of the Operational Research Society*, 61(1), 35-40.
- Li, H., & Lim, A. (2003). Local search with annealing-like restarts to solve the VRPTW. *European journal of operational research*, 150(1), 115-127.
- Liu, R., & Jiang, Z. (2012). The close-open mixed vehicle routing problem. *European journal of operational research*, 220(2), 349-360. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.01.061>
- Louis, S. J., Yin, X., & Yuan, Z. Y. (1999). Multiple vehicle routing with time windows using genetic algorithms. *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)*, 3, 1804-1808. IEEE.
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of the ACM (JACM)*, 7(4), 326-329.
- Mingozzi, A. (2005). The multi-depot periodic vehicle routing problem. *International Symposium on Abstraction, Reformulation, and Approximation*, 347-350. Springer.
- Percus, A. G. (1997). *Voyageur de commerce et problemes stochastiques associés*. Paris 6.

- Rachid, M. H., Ramdane-Cherif, W., Bloch, C., & Chatonnay, P. (2008). *Classification de problèmes de tournées de véhicules*. 8.
- Ralphs, T. K., Kopman, L., Pulleyblank, W. R., & Trotter, L. E. (2003). On the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical programming*, 94(2), 343-359. <https://doi.org/10.1007/s10107-002-0323-0>
- Rardin, R. L. (1998). *Optimization in operations research*. London: Prentice Hall. Consulté à l'adresse <https://bib.uclouvain.be/opac/boreal/chamo/chamo:763432>
- Sayadi, M. Y. (2019). *Construction et analyse des algorithmes exacts et exponentiels : Énumération input-sensitive*.
- Service Public Fédéral. (2020, janvier 19). Les types de services d'hospitalisation. Consulté 28 février 2021, à l'adresse Belgique en bonne santé website : <https://www.belgiqueenbonnesante.be/fr/donnees-phares-dans-les-soins-de-sante/hopitaux-generaux/organisation-du-paysage-hospitalier/categorisation-des-activites-hospitalieres/les-types-de-services-d-hospitalisation>
- Soins ambulatoires. (2020). In *Wikipédia*. Consulté à l'adresse https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Soins_ambulatoires&oldid=168701519
- Subramanian, A., Penna, P. H. V., Uchoa, E., & Ochi, L. S. (2012). A hybrid algorithm for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 221(2), 285-295.
- Szeto, W. Y., Wu, Y., & Ho, S. C. (2011). An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European journal of operational research*, 215(1), 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.006>
- Taillard, É. D. (1999). A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet VRP. *RAIRO-Operations Research-Recherche Opérationnelle*, 33(1), 1-14.
- Tancrez, J. (2021). *Projet quantitatif et de gestion*.
- Tansini, L., Urquhart, M. E., & Viera, O. (2001). Comparing assignment algorithms for the Multi-Depot VRP. *Reportes Técnicos 01-08*.
- Webfleet Solutions. (2021). Gestion de flotte – WEBFLEET – Véhicules entreprise. Consulté 20 février 2021, à l'adresse Webfleet Solutions website : https://www.webfleet.com/fr_be/webfleet/

Yu, B., & Yang, Z. Z. (2011). An ant colony optimization model : The period vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(2), 166-181.

Annexes

Table des annexes

ANNEXE 1 – CARTE HEURISTIQUE ACCRÉDITATION CANADA

ANNEXE 2 - LIEUX DE DÉPARTS ET DE DESTINATION DES PRODUITS TRANSPORTÉS

ANNEXE 3 - TOURNÉES ACTUELLES DU SERVICE TRANSPORT

ANNEXE 4 - MATRICES CARRÉES DES DISTANCES ET DES TEMPS DE TRAJETS

ANNEXE 5 - ENSEMBLE DES TRANSPORTS SOUS-TRAITÉS

Annexe 4 - Matrices carrées des distances et des temps de trajets

	Ath	Baudour	Beloil	Epicenter	Frameries	Hornu	IMS	Jurbise	Scoubeau	Defrize	DOUR	Arbre de vie	Chambord	Enghien
Ath	0	24,3	11,9	27,6	34,7	28,2	28	16,8	20,2	27,3	35,6	30	26,6	19,3
Baudour	25,7	0	14,3	7,2	10,6	6,7	5,7	13,6	8,4	12,5	13	6,8	13,1	36,3
Beloil	12,4	13,5	0	16,7	23,8	17,3	17,2	17,6	7,2	14,9	20	19,2	24,9	28,9
Epicenter	28	7,2	16,7	0	8,2	1,5	1,3	19,1	10,9	7,6	7	4,8	13,9	39,5
Frameries	34,2	10,2	23,8	8,2	0	7,8	7,3	17,4	18,3	15,8	12,5	3,5	10,5	37,8
Hornu	28,4	7,6	17	1,4	7,7	0	1,4	19,5	11,3	8,7	8,5	4,3	14,3	39,9
IMS	28,4	6,1	17	1,3	7,3	1	0	19,5	11,3	8,6	8,1	3,8	14,2	39,9
Jurbise	17,3	12,7	17,6	20,2	18,4	17,3	16,3	0	12,7	27,7	32,7	16,9	10,2	23,3
Scoubeau	19,6	7	7,2	10,9	18,3	11,6	11,4	12,7	0	11,1	16,2	14,6	19,4	31,7
Defrize	29,6	15,1	7,3	7,5	18,2	7,9	8,6	22,9	11,1	0	6	12,3	21,6	47,2
DOUR	34,7	15,2	22,2	7,1	11,4	9,4	8,1	31,9	16,2	5,9	0	8,9	19,5	52,3
Arbre de vie	30,6	6,9	19,2	4,8	3,8	4,4	3,9	15,3	13,3	12,4	10,3	0	11,9	39,2
Chambord	27	12,7	24,9	14,4	10,3	15	11,6	10,2	19,4	21,8	20,9	13,2	0	30,1
Enghien	19,4	36,6	28,8	40,1	38,2	40,7	40,6	23,3	32,8	42,9	52,6	39,6	32,1	0

	Ath	Baudour	Beloil	Epicenter	Frameries	Hornu	IMS	Jurbise	Scoubeau	Defrize	DOUR	Arbre de vie	Chambord	Enghien
Ath	0	31	18	35	43	37	38	21	26	32	37	42	35	21
Baudour	34	0	19	12	17	14	10	21	15	18	23	14	20	41
Beloil	18	16	0	19	30	25	24	22	9	17	22	27	30	32
Epicenter	35	11	21	0	15	5	3	19	15	10	12	9	15	37
Frameries	44	15	29	13	0	14	12	21	24	21	15	7	18	39
Hornu	35	12	22	4	13	0	4	20	16	13	15	9	16	39
IMS	35	9	21	2	11	3	0	18	15	12	13	7	15	38
Jurbise	21	19	23	20	21	26	23	0	18	24	29	24	15	27
Scoubeau	25	11	9	14	24	17	16	17	0	12	17	21	24	37
Defrize	30	15	12	10	22	14	12	28	12	0	7	16	19	41
DOUR	35	20	23	12	17	15	14	27	17	6	0	15	29	46
Arbre de vie	39	12	26	8	8	8	7	24	21	16	16	0	17	39
Chambord	34	17	29	15	17	18	19	15	24	19	30	17	0	35
Enghien	20	40	32	38	40	41	39	28	36	46	47	40	34	0

Annexe 5 - Ensemble des transports sous-traités



ATH

BELOEIL

BAUDOUR

Horaires transport prélèvements du lundi au vendredi

D	→	A
8h	----->	9h20
9h30	----->	10h30
11h	----->	12h20
12h30	----->	13h30
14h	----->	15h20
16h	----->	17h
17h30	----->	18h30
20h	----->	21h
8h30	----->	9h20
11h30	----->	12h20
14h30	----->	15h20
7h	----->	7h20
7h30	----->	7h50
8h	----->	8h20
8h30	----->	8h50
9h	----->	9h20
9h30	----->	9h50
10h10	----->	10h30
10h30	----->	10h50
11h	----->	11h20
11h30	----->	11h50
12h	----->	12h20
12h30	----->	12h50
13h10	----->	13h30
13h30	----->	13h50
14h	----->	14h20
14h30	----->	14h50
15h	----->	15h20
15h30	----->	15h50
16h	----->	16h20
16h40	----->	17h
17h	----->	17h20
17h30	----->	17h50
18h10	----->	18h30
19h	----->	19h20
20h	----->	20h20
20h40	----->	21h

H
O
R
N
U

