

Louvain School of Management

Optimisation des plannings du personnel d'un service ambulatoire de médecine physique

Cas d'application CHwapi

Auteur : Thomas Collier
Promoteur : Jean-Sébastien Tancrez
Année académique 2024-2025
Travail de fin d'études (TFE) en vue d'obtenir le titre de
Master (120) Ingénieur de gestion à finalité Business Analytics
Horaire de jour

Declaration regarding AI tool

During the preparation of this master's thesis, the author utilized GPT from Overleaf for the following purpose :

- 1.[**REASON**] : The GPT model was used to detect the spelling mistakes and to propose a correction of the mistakes.
2. After using GPT from Overleaf, the author diligently reviewed and edited the content produced by the tool. We take full responsibility for the final content presented in this thesis.

By signing this declaration, we affirm that the content of this master's thesis reflects our original work, augmented by the responsible use of AI.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long, sweeping horizontal stroke at the end.

26/05/2025

Remerciements

Dans un premier temps, je souhaiterais remercier le Pr. Jean-Sébastien Tancrez, promoteur de ce mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils tout au long de ce travail.

Je tiens aussi à remercier le CHwapi pour la confiance accordée durant ce projet, et plus particulièrement Virginie Vissenaekens, coordinatrice paramédicale au CHwapi, pour la supervision durant ce stage.

Pour finir, j'aimerais remercier ma famille et mes proches pour leur soutien tout au long de ce mémoire.

Table des matières

Introduction	1
1 Contexte théorique	3
1.1 Introduction	3
1.2 La planification des infirmiers	4
1.2.1 Contexte	4
1.2.2 Modèle de Pierskalla & al	6
1.2.3 Modèles actuels	7
1.3 La planification des rendez-vous	10
1.3.1 Contexte	10
1.3.2 Modélisation	11
1.4 Conclusion	13
2 Contexte	14
2.1 L'hôpital	14
2.2 Le service	14
2.3 Le problème	15
3 Modèle	16
3.1 Les ensembles et sous-ensembles	16
3.2 Les paramètres	17
3.3 Les variables	18
3.4 La fonction objective	19
3.5 Les contraintes	21
3.5.1 Les horaires des thérapeutes	21
3.5.2 Les règles de travail des thérapeutes	22
3.5.3 Les pauses de midi	23
3.5.4 La capacité des thérapeutes	24
3.5.5 La capacité des espaces	24
3.5.6 Les patients de nomenclature K	25
3.5.7 Les séances collectives	26
3.5.8 Le calcul des variables pour l'objectif	26
3.5.9 Les domaines des variables	27
3.6 Conclusion	28

4	Implémentation	29
4.1	Paramétrage du poids des objectifs	29
4.2	Présentation des résultats	31
4.2.1	Les arrivées de patients	31
4.2.2	La capacité des espaces	33
4.3	Analyses managériales	34
4.3.1	La modification des capacités de patients chez les thérapeutes . . .	34
4.3.2	L'augmentation de la capacité des espaces	36
4.3.3	La diminution de la période des pauses de midi	38
	Conclusion	40
	Références	41
5	Annexes	44
5.1	Le modèle complet	44
5.2	Les nouveaux plannings	59
5.3	L'occupation des espaces	62
5.4	Les arrivées des patients en réduisant la période de midi	64

Table des figures

1	L'impact sur les objectifs de la variation des facteurs de pondération des changements de plannings et des arrivées selon la méthode de Pareto . . .	30
2	Le flux des arrivées de patients sur la semaine la plus chargée de 2024 . . .	32
3	La projection des arrivées des patients avec application de la solution de l'implémentation du modèle en annexe 5.1	32
4	La projection de l'occupation de l'espace de kinésithérapie sur la semaine en conservant les plannings actuels des thérapeutes	33
5	La projection de l'occupation de l'espace de kinésithérapie sur la semaine avec application des nouveaux plannings en annexe 5.2	33
6	La projection de l'occupation de l'espace de kinésithérapie suite à la modification de la capacité de patients chez les kinésithérapeutes locomoteurs .	35
7	La projection de l'occupation de l'espace de kinésithérapie suite à la modification de la capacité des espaces de kinésithérapie et de la main	37
8	La projection de l'occupation de l'espace de la main suite à la modification de la capacité des espaces de kinésithérapie et de la main	37
9	Les horaires actuels des thérapeutes (Partie 1/3)	51
10	Les horaires actuels des thérapeutes (Partie 2/3)	52
11	Les horaires actuels des thérapeutes (Partie 3/3)	53
12	Les disponibilités des thérapeutes (Partie 1/3)	54
13	Les disponibilités des thérapeutes (Partie 2/3)	55
14	Les disponibilités des thérapeutes (Partie 3/3)	56
15	La capacité du nombre de patients à charge par thérapeute	57
16	La capacité du nombre de débuts de séances par thérapeute	58
17	Les nouveaux plannings générés par l'implémentation des résultats avec mise en évidence des différences avec les plannings actuels (partie 1/3) . .	59
18	Les nouveaux plannings générés par l'implémentation des résultats avec mise en évidence des différences avec les plannings actuels (partie 2/3) . .	60
19	Les nouveaux plannings générés par l'implémentation des résultats avec mise en évidence des différences avec les plannings actuels (partie 3/3) . .	61
20	La projection de l'occupation de l'espace de la main en conservant les plannings actuels des thérapeutes	62

21	La projection de l'occupation de l'espace de la main avec application des nouveaux plannings en annexe 5.2	62
22	La projection de l'occupation de l'espace d'ergothérapie en conservant les plannings actuels des thérapeutes	62
23	La projection de l'occupation de l'espace d'Ergothérapie avec application des nouveaux plannings en annexe 5.2	63
24	La projection des arrivées de patients avec la diminution de la période des pauses de midi	64

Liste des tableaux

1	Les ensembles du modèle	16
2	Les sous-ensembles du modèle	17
3	Les paramètres du modèle	18
4	Les variables du modèle	19
5	Le choix des valeurs des facteurs de pondération des objectifs	31
6	Les résultats des 4 objectifs de l'implémentation du modèle en annexe 5.1 .	31
7	Les valeurs des objectifs suite à la modification de la capacité de patients chez les kinésithérapeutes locomoteurs	35
8	Les valeurs des objectifs suite à la modification de la capacité des espaces de kinésithérapie et de la main	36
9	Les valeurs des objectifs suite à la modification de la période de midi . . .	38
10	Le nombre de thérapeutes en pauses via les plannings en annexe 5.2	39
11	Le nombre de thérapeutes en pause suite à la modification de la période de midi	39
12	Les tailles des ensembles du modèle	44
13	Les valeurs des sous-ensembles du modèle	45
14	Les valeurs des paramètres du modèle	46

Introduction

Le CHwapi (Centre Hospitalier de Wallonie picarde) s'est lancé dans un projet de grande envergure, celui de réunir les 3 sites hospitaliers sur un site unique. Ce déménagement, prévu en 2026, est un vrai challenge organisationnel pour l'hôpital, à propos duquel de nombreux services s'interrogent sur la projection de leurs activités actuelles dans les futures infrastructures. C'est le cas du service de médecine physique ambulatoire, où les différents kinésithérapeutes et ergothérapeutes qui y travaillent se posent des questions sur la continuité de leur activité dans ce futur hôpital.

Ce service de médecine physique ambulatoire est la coordination de 10 ergothérapeutes et de 27 kinésithérapeutes, répartis en 3 spécialités de kinésithérapie distinctes. L'ensemble de ces 37 thérapeutes sera réparti dans 4 espaces différents afin de réaliser leurs activités de soins.

Cependant, des premières analyses ont démontré que pour l'un de ces espaces, à certains moments de la semaine, le nombre de thérapeutes en activité est supérieur à la capacité maximale de cet espace. Ces analyses ont aussi mis en évidence de grandes fluctuations sur les arrivées de patients au cours de la journée, ce qui pourrait engendrer des problèmes concernant l'accueil de ces patients.

La solution proposée dans ce mémoire est de fournir de nouveaux plannings individuels à chaque thérapeute afin d'assurer que la capacité des espaces soit respectée, mais aussi d'optimiser le flux de patients dans le service. Ces nouveaux plannings doivent impérativement conserver l'ensemble des activités des thérapeutes, mais aussi respecter les différentes disponibilités horaires de ceux-ci. Pour trouver une solution optimale à ce problème, un modèle mathématique d'optimisation linéaire en nombres entiers a été élaboré afin de fournir ces nouveaux plannings optimaux à chacun des thérapeutes.

La réalisation de ce projet a été centrée en 3 étapes principales : la compréhension de l'ensemble des besoins des différentes parties prenantes du projet avec comme exemple un sondage envoyé à l'ensemble des thérapeutes. La construction d'un modèle mathématique sur mesure afin de respecter l'ensemble des besoins du service. Et pour finir, une présentation des résultats obtenus ainsi qu'une analyse de ceux-ci.

Le mémoire est structuré en plusieurs chapitres, le premier est une mise en contexte théorique de la littérature scientifique sur deux sujets particuliers : l'optimisation des plannings infirmiers et l'optimisation de la planification des rendez-vous en milieu hospitalier. Ces deux sujets ont été très étudiés dans la littérature scientifique, dont de nombreuses méthodes de programmation linéaire en nombres entiers ont été inventées afin de résoudre ces problèmes. La compréhension des différents types de modèles permettra de s'en inspirer dans la construction de notre modèle mathématique.

Le chapitre 2 donne le contexte du projet en expliquant l'ensemble des éléments importants à prendre en compte pour la résolution de ce problème tels que l'explication des activités de soins, les spécialités des thérapeutes, les 4 espaces ou encore les différents types de patients.

Le chapitre 3 présente les ensembles, sous-ensembles, paramètres et variables, ainsi que la fonction multi-objectifs qui est composée de 4 objectifs distincts. Et pour finir, les différentes contraintes, qui prennent en compte certains éléments comme le règlement du travail, ou encore le nombre de patients par thérapeute, sont expliquées.

Le dernier chapitre est celui de l'implémentation du modèle présenté dans le chapitre 3, avec l'explication du choix des poids des différents objectifs de la fonction grâce, en partie, à la méthode de Pareto. Ensuite, la solution, obtenue via l'implémentation du modèle mathématique dans un solveur, est présentée. Ces résultats sont analysés et comparés avec la situation actuelle. Pour finir, 3 analyses managériales supplémentaires ont été testées, la première est celle d'une modification de la capacité du nombre d'arrivées de patients par thérapeute. La deuxième concerne l'augmentation de la capacité de 2 des espaces de soins. Et pour finir, la dernière analyse l'impact de la diminution de la période pendant laquelle les pauses de midi sont prises.

Pour résumer, ce projet vise à fournir de nouveaux horaires pour les thérapeutes, mais aussi à rassurer le CHwapi ainsi que les collaborateurs du service concernant la projection de leurs activités, en vue de l'emménagement dans le futur hôpital.

1 Contexte théorique

L'objectif de cette partie théorique est d'aborder différents types de sujets d'optimisation en milieu hospitalier qui ont été développés dans la littérature scientifique et plus précisément le problème de planification des infirmiers, ainsi que le problème de planification des rendez-vous, dans le but de comprendre et de s'inspirer de la littérature scientifique afin d'aider à solutionner le problème mentionné dans ce mémoire.

1.1 Introduction

De nos jours, les problèmes d'optimisation en milieu hospitalier ont reçu une attention particulière, avec en partie pour objectif de minimiser les coûts des offres de soins de santé, mais cet intérêt est aussi lié à l'augmentation de la demande de ces soins ces dernières décennies, qui est due, en autres, à l'augmentation de la longévité de la population (ABDALKAREEM et al., 2021). Cependant, malgré cette augmentation plus récente, les articles scientifiques qui présentent des modèles mathématiques pour résoudre ce type de problèmes ne sont pas nouveaux. Nous pouvons retrouver des publications comme celles de WELCH et BAILEY (1952) ou PIERSKALLA et RATH (1976) datant des années 50 et 70.

Depuis l'arrivée des premiers articles scientifiques répondant à ce type de problème via la programmation linéaire, le nombre d'ouvrages à ce sujet publiés chaque année n'a fait qu'augmenter. Et dans tous ces articles, plusieurs sujets différents sont présents, cependant dans cette introduction 4 seront présentés, allant de la gestion du personnel médical à celle des infrastructures (ABDALKAREEM et al., 2021).

Le premier sujet est celui de la planification des salles d'opération, où l'objectif est d'optimiser au mieux l'utilisation des blocs opératoires en tenant compte des ressources limitées telles que le personnel médical, mais aussi les infrastructures comme les salles de réveil et les salles d'opération, tout en répondant à la demande et en prenant en compte la variabilité des durées des interventions chirurgicales (HILLIER, 2012).

Le deuxième sujet concerne la planification des admissions des patients. Elle peut être optimisée afin d'améliorer l'utilisation des différents services pour maximiser le nombre de patients pouvant être pris en charge, mais aussi en cherchant à améliorer le confort et la qualité des soins. Tout en prenant en considération les possibles urgences qui peuvent

survenir au dernier moment. D'autant plus qu'il est nécessaire de prendre en compte que le patient passe parfois par plusieurs services durant son séjour à l'hôpital (ABDALKAREEM et al., 2021).

Le troisième sujet est à propos de la planification des rendez-vous, dont l'objectif principal est de maximiser le nombre de rendez-vous disponibles, tout en prenant en considération les horaires du personnel médical. Certains modèles vont jusqu'à prévoir le nombre de patients qui ne se présentent pas, mais aussi les possibles retards dans la prise en charge des patients (HILLIER, 2012).

Pour finir, le dernier sujet concerne la planification des horaires des infirmiers. Cette planification a pour objectif d'organiser les horaires des différents infirmiers en respectant le besoin minimum de personnel en service, tout en respectant les normes légales, et en satisfaisant au maximum leurs préférences ainsi que leur confort sur leur horaire de travail (ABDALKAREEM et al., 2021).

Dans la suite de ce chapitre, la planification des horaires des infirmiers ainsi que la planification des rendez-vous seront approfondies. La raison est que ces 2 thèmes de la littérature scientifique sont très similaires à la problématique de ce travail. L'objectif de la suite de l'approfondissement de ces sujets sera de comprendre la construction des modèles mathématiques de ceux-ci, afin de s'en inspirer dans la suite de ce mémoire.

1.2 La planification des infirmiers

1.2.1 Contexte

Les hôpitaux font face à une pénurie générale d'infirmiers et d'infirmières depuis plusieurs décennies, c'est en partie la raison pour laquelle le milieu scientifique s'est intéressé à ce problème afin de trouver des solutions (HILLIER, 2012). De nombreux ouvrages sont apparus, avec pour objectif d'une part, de comprendre tous les éléments qui doivent être nécessairement pris en considération dans la réalisation de plannings infirmiers, et d'autre part, d'essayer de prendre en compte les aspects qui améliorent le confort et la satisfaction des infirmiers. Il est d'autant plus important pour les hôpitaux d'améliorer les conditions de travail afin de limiter le turn-over pour essayer de résoudre la pénurie de ce personnel médical (RAHIMIAN et al., 2017).

Dans la littérature, il existe deux types d'horizons des plannings. Le premier est la construction d'un modèle cyclique ce qui signifie la création d'un modèle avec une projection sur une période de temps et que dans l'hypothèse celle-ci se répète à l'identique de période en période. L'autre possibilité est un modèle non-cyclique qui se projette sur un horizon plus lointain en prenant en compte que chaque période peut être différente l'une de l'autre. L'avantage d'un modèle non-cyclique est qu'il permet de prendre en compte certains éléments qui sont non-périodiques tels que les congés des infirmiers. Cependant, même si le modèle non-cyclique est plus détaillé dans ses résultats, il est cependant peu utilisé de par sa complexité de construction de l'ensemble des contraintes, mais aussi par son temps de calcul nettement plus élevé comparé au modèle cyclique (CHEANG et al., 2003; MILLAR & KIRAGU, 1998).

C'est en partie pour ces raisons, mais aussi parce que les plannings obtenus dans ce mémoire sont périodiques, que dans la suite du chapitre, uniquement les modèles avec ce type d'horizon de planification seront analysés.

La grande majorité des modèles cycliques prévoient des périodes d'horizon hebdomadaire, c'est-à-dire en prenant en compte 7 jours de travail. Ces mêmes modèles découpent chaque journée en 3 périodes de travail d'une durée de 8 heures chacune, comme présenté par BURKE et al. (2008) et CHEANG et al. (2003). Néanmoins, il existe quelques articles, plus anciens, qui ont considéré des périodes de 12 heures, comme par exemple dans le modèle de MILLAR et KIRAGU (1998).

Tous les articles, mentionnés dans ces sections, ont trouvé une solution optimale en construisant des modèles d'optimisation discrète. C'est dans ce contexte que, dans la suite de ce chapitre, un des premiers modèles à ce sujet va être présenté, celui de PIERSKALLA et RATH (1976). Suivi de la présentation du fonctionnement des modèles plus récents afin de comparer l'évolution.

Dans la présentation de ces modèles, les variables de décision sont expliquées en premier. Et exceptionnellement, les contraintes sont présentées avant la fonction objective car l'explication de la fonction objective se base sur le fonctionnement des contraintes.

1.2.2 Modèle de Pierskalla & al

L'utilisation de modèles mathématiques pour essayer de résoudre le problème de planification des infirmiers n'est pas récent. Les premiers articles sont apparus dans les années 70 avec, entre autres, celui de PIERSKALLA et RATH (1976), qui est considéré comme faisant partie des premiers articles fondateurs dans ce domaine (NGOO et al., 2022).

Cette partie vise à écrire et à comprendre le modèle présenté par PIERSKALLA et RATH (1976), et à analyser les évolutions entre ce modèle plus ancien et les modèles actuels.

La variable de décision

L'objectif premier de ce problème est d'obtenir des plannings pour les infirmiers. C'est pour cette raison que les auteurs ont fait le choix d'une variable binaire comme celle-ci.

$y_i^j = 1$ si l'infirmier i travaille durant la période j , 0 sinon

L'indice j contient la multiplication des différentes périodes d'une journée avec les jours de la semaine. Par exemple, pour une semaine de 7 jours, et pour des jours divisés en 3 périodes, la taille de l'indice j peut aller jusqu'à 21.

Les contraintes

Pour ce qui est des contraintes du modèle, elles sont divisées en 2 parties. Il y a premièrement les contraintes de faisabilité qui sont celles qui doivent être obligatoirement satisfaites dans la résolution, dans le cas contraire aucune solution faisable n'est possible. Le deuxième type correspond aux contraintes non-liantes où le modèle doit essayer de les satisfaire au maximum et elles ne doivent pas être obligatoirement satisfaites pour trouver une solution faisable.

Les contraintes de faisabilité, qui sont présentées dans le modèle, sont les suivantes.

- Chaque période de travail doit être couverte par un nombre minimum d'infirmiers.
- Un infirmier ne peut uniquement travailler que 1 période maximum sur une même journée.
- Chaque infirmier doit travailler un certain nombre d'heures par semaine.

- Il faut un minimum de jours de repos après certaines séries de jours de travail consécutifs.

Les contraintes non-liantes sont les suivantes.

- Respecter les préférences individuelles des infirmiers.
- Répartir de manière équitable les périodes de travail les moins désirées entre les membres du personnel médical.
- Espacer la durée de repos entre les changements de périodes de travail.

La fonction objective

Le principe de fonctionnement de l'objectif du modèle de 1976 est de maximiser le nombre de contraintes non-liantes satisfaites. Plus précisément, chaque non-respect des contraintes non-liantes engendre des pénalités. La fonction objective vise alors à minimiser cette somme de pénalités. Pour chacune de ces contraintes, un facteur de pondération peut être attribué, dans l'optique de pouvoir assigner une satisfaction de certaines contraintes plus importante que d'autres.

1.2.3 Modèles actuels

Cette partie vise à comprendre les méthodes de construction des modèles plus récents à ce sujet.

La variable de décision

Dans ces modèles actuels, deux types de variables de décision sont possibles.

Le premier type de variable, qui est en outre utilisé par MILLAR et KIRAGU (1998) , est une variable binaire comme celle-ci.

$y_i^{jk} = 1$ lorsque l'infirmier i , travaille le jour j , à la période k , 0 sinon

Cette variable est presque identique au modèle de PIERSKALLA et RATH (1976). La seule différence est qu'elle scinde l'indice des périodes en deux indices distincts, celui

des différentes périodes d'une journée et celui qui comporte uniquement les jours de la semaine.

La deuxième possibilité de variable, qui est entre autres présente dans le modèle de WEIL et al. (1995), consiste plutôt à utiliser une variable en nombres entiers qui prend une valeur de 0 à N où N vaut le nombre de périodes de travail dans une journée. La valeur de N est identique à la taille de l'indice k , présentée dans la variable précédente. La variable prend donc cette forme.

y_i^j la période de travail de l'infirmier i pour le jour j .

Lorsque la valeur de la variable vaut 0, cela indique que l'infirmier en question ne travaille pas ce jour-là.

Le choix d'utiliser la variable en nombres entiers à la place de la variable binaire permet de diviser le nombre de variables de décision, qui peut permettre de diminuer légèrement la quantité de calcul nécessaire lors de la résolution du modèle. Cependant, cette technique oblige, de manière passive, qu'un infirmier ne puisse travailler qu'une seule période sur une même journée. C'est en partie pour cette raison, mais aussi car le choix d'une variable binaire semble plus intuitif à utiliser, que l'utilisation de cette dernière est très majoritairement appliquée dans les modèles présents dans la littérature (CHEANG et al., 2003).

Les contraintes

De la même manière que le modèle de PIERSKALLA et RATH (1976), les contraintes sont divisées en 2 parties. Cependant, les contraintes de faisabilité sont appelées contraintes dures et les contraintes non-liantes sont les contraintes douces, mais le principe reste identique (CHEANG et al., 2003).

La suite des exemples de contraintes est basée uniquement sur le modèle de BURKE et al. (2008) qui est régulièrement cité dans la littérature récente comme exemple de référence. Toutes les contraintes douces du modèle de BURKE et al. (2008) ne sont pas présentées dans cette partie, le modèle en comporte au total 26. Cependant, celles présentées dans cette section sont jugées comme les plus importantes mais aussi les plus présentes dans les autres ouvrages scientifiques.

Dans un premier temps, il y a les contraintes dures.

- Un infirmier peut réaliser uniquement une seule période de travail par jour.
- Certaines spécialités d’infirmier doivent être obligatoirement assignées à certaines tâches précises.
- La demande d’infirmiers dans un service pour chaque période doit être satisfaite.

Il y a aussi les contraintes douces qui sont présentées comme suit.

- Un maximum et un minimum de jours consécutifs de travail sans jours de repos.
- Un maximum et un minimum de jours consécutifs de repos entre les périodes de travail.
- 2 jours de repos après au moins une période de travail de nuit.
- Un nombre maximum et minimum d’heures de travail sur la semaine.
- La même période de travail durant les deux jours du week-end.

Dans ce modèle, uniquement 3 contraintes dures sont présentes. Mais, il existe d’autres modèles qui requalifient certaines des contraintes douces, du modèle de BURKE et al. (2008), en contraintes dures, comme c’est le cas avec le modèle présenté par WEIL et al. (1995) qui a indiqué le fait d’avoir un jour de repos après une période de nuit en contrainte dure. Ce choix peut dépendre notamment de la législation en place dans le pays concerné.

La fonction objective

Le principe de la fonction objective des modèles actuels, comme ceux de BURKE et al. (2008), CHEANG et al. (2003), MILLAR et KIRAGU (1998), RAHIMIAN et al. (2017) et VALOUXIS et al. (2012), est identique à celui de PIERSKALLA et RATH (1976). Les contraintes douces, qui ne sont pas respectées, engendrent des pénalités qui sont chacune pondérées par un facteur, l’objectif étant de minimiser la somme de ces pénalités.

Si nous devons comparer l’évolution entre les modèles actuels et le modèle de PIERSKALLA et RATH (1976). Il est facile de remarquer qu’il n’y a pas eu réellement d’évolution dans

la construction du modèle mathématique pour répondre au problème de planification des infirmiers. Même si une petite différence peut être remarquée sur le nombre de contraintes, celles-ci sont plus nombreuses dans les modèles récents comparés au modèle de 1976 où moins de 10 sont présentes.

Il existe, tout de même, une différence importante qui réside dans les méthodes de résolution, ainsi que dans la capacité de calcul des ordinateurs. Les méthodes de calcul de la solution optimale ont évolué, ainsi que la rapidité de ces calculs, ce qui rend plus facile actuellement de trouver des solutions optimales, mais aussi de résoudre des problèmes plus complexes.

1.3 La planification des rendez-vous

1.3.1 Contexte

Ces dernières décennies, la demande en termes de services de soins a connu une augmentation. C'est la raison pour laquelle les hôpitaux cherchent à maximiser le nombre de patients pouvant être pris en charge, tout en améliorant la satisfaction de ces patients. Ces maximisations doivent être faites en respectant les ressources très limitées et souvent insuffisantes du personnel médical (AHMADI-JAVID et al., 2017).

Le premier article à avoir été publié au sujet de la planification des rendez-vous en milieu hospitalier remonte au début des années 50 avec l'article de WELCH et BAILEY (1952). Depuis l'apparition de cet article, le nombre de projets scientifiques publiés chaque année, relatifs à ce sujet, connaît une croissance continue (ALA & CHEN, 2022).

Dans tous ces rapports publiés, les thématiques peuvent relativement être différentes, cela dépend directement du service concerné au sein de l'hôpital. Cependant, une majorité de ces études abordent le même sujet, celui lié aux services de traitement oncologique, dont la planification de ces rendez-vous est très complexe, de par la variabilité des temps de traitement, mais aussi avec la succession de différents rendez-vous (médecins, infirmiers,...). C'est entre autres, pour cette raison que la programmation linéaire en nombres entiers est régulièrement utilisée pour solutionner ce type de problème (HESARAKI et al., 2019).

Cependant, en plus des différences entre les services étudiés, il y a aussi des différences sur les éléments pris en compte dans le problème. Certains problèmes vont plus ou moins loin dans la réflexion, comme prendre en compte qu'un pourcentage de patients ne se présente

pas (AHMADI-JAVID et al., 2017), ou encore estimer l'heure d'arrivée des patients dans le service ainsi que des potentiels retards sur l'heure de planification des rendez-vous (KAANDORP & KOOLE, 2007).

1.3.2 Modélisation

La variable de décision

Malgré les différences entre les sujets dans la planification des rendez-vous, ceux-ci convergent vers les mêmes choix concernant la variable de décision. Dans ces variables, nous pouvons les distinguer 2, dont le choix dépend principalement du contexte du problème.

Tout d'abord, quel que soit le contexte, il est indispensable de diviser les journées en intervalles de temps plus petits, en l'indiquant en indice de la variable. La plupart des découpages se font par intervalles inférieurs à une heure. Comme c'est le cas pour le modèle présenté par KAANDORP et KOOLE (2007), dont les intervalles utilisés sont de 10 minutes, sur une journée de 8 h cela représente 48 intervalles. C'est un élément important à prendre en compte pour la capacité de calcul nécessaire à la résolution du modèle.

La première possibilité, dans le choix de variable, est l'utilisation d'une variable binaire comme celle utilisée dans le modèle de REZAEIAHARI et KHASAWNEH (2017).

$x_{ij}^{td} := 1$ si le type de patient i , est planifié au rendez-vous j , au temps t , le jour d ,
0 sinon.

La deuxième possibilité est celle utilisée entre autres par KAANDORP et KOOLE (2007) qui présente une variable en nombres entiers.

x^{td} : Le nombre de patient qui arrive en période t , le jour d .

La première variable est bien plus détaillée en offrant une quantité d'information plus importante, mais engendre aussi une quantité de calcul bien plus importante que le deuxième choix de variable, qui semble contenir moins d'informations mais qui permet d'obtenir une rapidité d'exécution du modèle bien plus importante. Le choix d'utilisation de la variable dépend directement des besoins du problème.

La fonction objective

La plupart de ces modèles possèdent des fonctions multi-objectives avec différents facteurs de pondération à chaque objectif pour favoriser l'un ou l'autre, comme c'est le cas dans les modèles de planification des infirmiers. Cependant, deux types d'objectifs sont régulièrement présents dans la littérature.

Le premier concerne le nombre de patients pouvant être accueillis. Il y a deux possibilités de l'inclure dans la fonction objective, et cela dépend si le problème de base doit répondre à une demande fixée préalablement ou non. Si c'est le cas, alors la minimisation du nombre de patients ne pouvant pas être pris en charge peut être incluse dans la fonction objective, comme c'est le cas dans l'article de HUANG et al. (2022).

Si par contre il n'y a pas de demande fixe, alors l'objectif peut être la maximisation du nombre de créneaux horaires disponibles afin de pouvoir soigner un maximum de patients, comme présenté dans le modèle de BENZAID et al. (2020).

Le deuxième type d'objectif se rapporte plutôt à la satisfaction des patients. Avec comme pour exemple, la minimisation de la différence entre le moment de prise en charge du patient et le moment que le patient souhaitait être pris en charge, ou encore la minimisation du temps d'attente du patient le jour j , qui est dû au retard engendré par les rendez-vous précédents. Ces deux éléments sont souvent des causes d'insatisfaction chez le patient. Ce type d'objectif est, entre autres, utilisé dans les modèles de ALA et al. (2021), KAANDORP et KOOLE (2007) et REZAEIAHARI et KHASAWNEH (2017).

Les contraintes

Les contraintes utilisées dans ces ouvrages littéraires dépendent directement du contexte du problème. Cependant, les contraintes citées juste après reviennent très régulièrement dans une grande majorité des articles.

- Les services hospitaliers possèdent une capacité maximale en terme de matériel, ce qui restreint le nombre de patients pouvant être soigner simultanément. Comme par exemple, les sièges de traitement pour des cas de chimiothérapie (BENZAID et al., 2020 ; RAMOS et al., 2020).

- Le personnel médical possède une limite du nombre de patients pouvant être traités simultanément. Comme les infirmiers dans des service d'oncologie (BENZAID et al., 2020 ; RAMOS et al., 2020), ou encore des gynécologues pour des services ambulatoires (van de VRUGT et al., 2018).
- Il arrive régulièrement que durant le parcours de soins du patient, celui-ci est amené à dépendre d'un autre service au sein de l'hôpital, qui n'est pas dans le cadre du problème. C'est le cas des traitements par chimiothérapie, qui dépendent de la préparation des médicaments par la pharmacie (RAMOS et al., 2020).
- Le patient doit pouvoir être pris en charge par le même médecin du début à la fin du soin (ALA et al., 2021) ou parfois avant l'heure de fermeture du service en ce qui concerne un service d'oncologie (BENZAID et al., 2020).
- Dans le parcours de certains patients, il est possible d'avoir plusieurs rendez-vous qui sont successifs. Il est important que le patient ne doit pas attendre entre l'ensemble de ses rendez-vous (HUANG et al., 2022).
- D'autres modèles vont jusqu'à anticiper l'arrivée de patients urgents, ce qui nécessite de prévoir une marge de sécurité pour l'accueil de ces patients (ALA et al., 2021).
- Certains modèles prennent en compte statistiquement l'heure d'arrivée des patients par rapport à leur heure de rendez-vous. Cela permet d'anticiper les différents retards possibles pour les rendez-vous ultérieurs (KAANDORP & KOOLE, 2007).

1.4 Conclusion

Cette partie théorique a permis d'analyser les modèles mathématiques de 2 types de problèmes de planification en milieu hospitalier. Ces sujets scientifiques ont été considérés comme similaires au sujet de ce mémoire. Leur compréhension va permettre de s'en inspirer pour la construction de notre modèle.

Par exemple, pour la planification des infirmiers, la méthode de construction de la variable de décision, ainsi que certains types de contraintes sur l'aspect du règlement du travail vont se retrouver en partie dans notre modèle. Et concernant la planification des rendez-vous, une des variables de décision va être inspirée, mais aussi l'objectif de maximiser les rendez-vous, qui sera présent dans notre fonction objective.

2 Contexte

2.1 L'hôpital

Le centre hospitalier de Wallonie picarde a vu le jour en 2009, venant de la volonté de la mutualité chrétienne et de Solidaris de fusionner les 3 hôpitaux du Tournaisis en une même organisation. Actuellement, le CHwapi est le plus gros employeur de la région de Tournai avec 2700 collaborateurs répartis dans plus de 100 métiers différents (“CHwapi : Un hôpital au coeur de la ville”, 2023).

Le CHwapi c’est aussi une capacité de 760 lits d’hospitalisation, dont 15 lits universitaires, mais aussi 10 spécialités chirurgicales. En termes de prestations, il réalise 300 000 consultations annuellement, ainsi que 1 200 accouchements et comptabilise plus de 50 000 passages aux urgences (“CHwapi : Un hôpital au coeur de la ville”, 2023).

Il y a plusieurs années, le CHwapi s’est engagé dans un projet au nom de «Site Unique», dont l’objectif consiste en la réunification des 3 sites hospitaliers, qui sont actuellement dispersés aux 4 coins de la ville, sur 1 site unique qui est en construction. Le déménagement des différents services se fera tout au long de l’année 2026.

Ce déménagement des services vers les nouveaux locaux peut devenir un vrai challenge organisationnel, mais aussi une source d’appréhension auprès des collaborateurs quant à l’organisation dans leurs nouveaux locaux. C’est le cas pour le service de médecine physique ambulatoire.

2.2 Le service

Le futur service de médecine physique ambulatoire accueillera les 37 thérapeutes, répartis en 2 disciplines : 27 kinésithérapeutes et 10 ergothérapeutes, mais aussi divisés en 3 spécialités de kinésithérapie : 14 en locomoteurs, 7 en neurologie, et 6 à la main. Les locaux seront aussi composés de 4 espaces de soins, le principal est l’espace de kinésithérapie, prévu pour accueillir les kinésithérapeutes de spécialités locomotrice et neurologique. L’espace de la main est prévu pour tous les kinésithérapeutes de la main et l’espace d’ergothérapie pour les ergothérapeutes. Pour finir, une dernière salle sera présente, c’est l’espace polyvalent, prévu pour l’organisation des différentes séances collectives qui sont organisées par certains thérapeutes.

Pour les espaces de kinésithérapie et de la main, une capacité maximale d'occupation a été fixée via le matériel disponible dans ces espaces. Pour l'espace de kinésithérapie, la limite a été basée sur les tables de massage qui sont le matériel principal utilisé par les kinésithérapeutes. Par kinésithérapeute locomoteur, 2 tables de massage sont prévues alors que par kinésithérapeute neurologique, une seule est réservée, en sachant que l'espace contiendra 17 tables de massage. Pour l'espace de la main, il y aura 4 postes de travail présents dans la salle en considérant qu'un kinésithérapeute en utilise un lorsqu'il travaille.

Concernant les patients qui viennent dans le service, ils peuvent être divisés en 3 catégories. Les premiers sont les patients de nomenclature M, c'est-à-dire qu'ils viennent uniquement pour une séance de kinésithérapie. Le deuxième type est constitué des patients de nomenclature K qui viennent pour une séance de kinésithérapie qui est précédée ou succédée par une séance d'ergothérapie. Pour finir, la troisième catégorie regroupe ceux venant uniquement pour une séance collective.

2.3 Le problème

Cependant, un problème risque d'être rencontré lors de l'emménagement dans le nouvel hôpital, la capacité de l'espace de kinésithérapie est insuffisante pour accueillir tous les thérapeutes, si ceux-ci conservent leurs horaires de travail actuels. L'objectif est donc de fournir de nouveaux plannings hebdomadaires aux thérapeutes afin de respecter la capacité des espaces, mais aussi de profiter de ce déménagement pour optimiser le flux de patients dans le service, comme en lissant les arrivées de ces patients.

Pour la création de ces nouveaux plannings des thérapeutes, 3 règles importantes sont à prendre en compte : 1) chaque thérapeute devra conserver un nombre d'heures de travail identique à ses horaires actuels, 2) les nouveaux plannings doivent respecter les disponibilités des thérapeutes, 3) l'ensemble des règles de travail doit être respecté. Pour obtenir les différentes disponibilités des thérapeutes, un questionnaire leur a été envoyé.

Pour parvenir à trouver une solution à ce problème, un modèle de programmation linéaire en nombres entiers a été construit dans le chapitre 3. Ce modèle mathématique prend en compte l'ensemble des informations nécessaires du service, telles que la capacité des espaces ou encore les règles de travail.

3 Modèle

Ce chapitre présente un modèle élaboré qui permet de répondre aux besoins du problème. Il est structuré en commençant par la présentation des ensembles et sous-ensembles du modèle, suivie des paramètres présents ainsi que des variables utilisées. Pour finir, la fonction objective et la majorité des contraintes essentielles seront expliquées. L'ensemble du modèle complet, sans explication, est disponible en annexe 5.1, avec les valeurs des sous-ensembles et des paramètres.

3.1 Les ensembles et sous-ensembles

Cette Table 1 introduit les ensembles des indices utilisés par les variables et paramètres de ce modèle.

Ensembles	Tailles	Descriptions
$\mathcal{S}_J = \{1, 2, \dots, J\}$	$J = 5$	Les jours de la semaine (lundi au vendredi)
$\mathcal{S}_P = \{1, 2, \dots, P\}$	$P = 25$	Les périodes de 30 minutes sur la journée (7 : 00 à 19 : 30)
$\mathcal{S}_T = \{1, 2, \dots, T\}$	$T = 37$	Les thérapeutes
$\mathcal{S}_E = \{1, 2, \dots, E\}$	$E = 4$	Les espaces de soins
$\mathcal{S}_A = \{1, 2, \dots, A\}$	$A = 9$	Les activités
$\mathcal{S}_D = \{1, 2, \dots, D\}$	$D = 5$	Les parties de la journée
$\mathcal{S}_V = \{1, 2\}$	$V = 2$	L'ordre de la séance d'ergothérapie pour les patients de nomenclature K
$\mathcal{S}_S = \{1, 2, \dots, S\}$	$S = 4$	Les spécialités des thérapeutes

TABLE 1: Les ensembles du modèle

Les sous-ensembles utilisés dans les contraintes sont spécifiés dans la Table 2.

Sous-ensembles	Descriptions
$S_P^d \subset S_P$	L'ensemble des périodes de la partie de la journée d
$S_T^{Spé}(s) \subset S_T$	L'ensemble des thérapeutes de SPÉcialités s
$S_T^{PasCoup} \subset S_T$	L'ensemble des thérapeutes qui ne font PAS d'horaires COUPés
$S_A^{Spé}(s) \subset S_A$	L'ensemble des activités qui sont réalisées par la SPÉcialité s

TABLE 2: Les sous-ensembles du modèle

3.2 Les paramètres

Cette Table 3 a pour objectif d'introduire les paramètres qui sont utilisés dans le modèle.

Paramètres	Descriptions
$NDHS_t$	Nombre de Demi-Heures de travail sur la Semaine pour le thérapeute t
Hor_t^{pj}	HORaires actuels du thérapeute t , le jour j , à la période p
$Dispo_t^{pj}$	DISPONibilités horaires du thérapeute t , le jour j , à la période p
Dur_a	DURée de l'activité a
$CapOcc_{ta}$	CAPacité maximale d'OCCupation de patients, à un même moment, par le thérapeute t , pour l'activité a
$CapArr_{ta}$	CAPacité maximale d'ARRivées de patients simultanément, par le thérapeute t , pour l'activité a
$CapEsp_e$	CAPacité maximale dans l'ESpace e
$PropNom_a$	PROPortion de patients qui sont de NOMenclature k , pour l'activité a
$Maxz_a$	Nombre MAXimal de périodes planifiées pour l'activité a , sur la semaine

TSansP	Nombre de périodes maximum qu'un ergothérapeute peut Travailler SANS prendre de Pause (=12)
TrMaxE	Nombre de périodes de TRavail MAXimum sur une journée pour les ergothérapeutes (=22)
TrMinE	Nombre de périodes de TRavail MINimum sur une journée de travail pour les ergothérapeutes (=7)
TrMinK	Nombre de périodes de TRavail MINimum sur une journée de travail pour les kinésithérapeutes (=4)
TPau	Temps de PAUse de midi (=1)
MaxSoir	Nombre MAXimum de soirs où un ergothérapeute peut travailler (=1)
UtiMat _{<i>a</i>}	Quantité d'UTILisation de MATériel par un thérapeute pour l'activité <i>a</i>
MinTPau	Nombre MINimum de périodes de Travail avant et après une PAUse (=3)
Fx, FArr, FOcc, FDiff	Facteurs de pondération des objectifs

TABLE 3: Les paramètres du modèle

3.3 Les variables

Cette Table 4 permet d'exposer les variables dont le modèle choisira les valeurs afin d'optimiser la solution.

Variables	Descriptions
y_t^{pj}	1 si le thérapeute t travaille en période p , le jour j , 0 sinon

x_{ta}^{pj}	Nombre de début de séances d'activité a , pour le thérapeute t , en période p , le jour j
w_t^{dj}	1 si le thérapeute t travaille la partie de la journée d , du jour j , 0 sinon
pau_t^{pj}	1 si le thérapeute t est en pause en période p , le jour j , 0 sinon
occ_{ta}^{pj}	Nombre de patients d'activité a à charge du thérapeute t , le jour j , à la période p
z_{ta}^{pj}	1 si le thérapeute t est assigné à l'activité a , en période p , le jour j , 0 sinon
xK_{tk}^{pj}	Nombre de patients de nomenclature K qui voient l'ergothérapeute t au moment v , en période p , le jour j
maxArr	Nombre d'arrivées maximum de patients sur la semaine dans le service à un moment
maxOcc	Nombre maximum de patients dans le service à un moment
maxDiff	Nombre maximum de périodes différentes entre l'horaire actuel et celui proposé par le modèle, pour un thérapeute
$diff_t^{pj}$	1 s'il y a une différence entre l'horaire actuel et celui proposé par le modèle pour le thérapeute t , à la période p , le jour j , 0 sinon
arr^{pj}	Nombre d'arrivées de patients dans le service à la période p , le jour j

TABLE 4: Les variables du modèle

3.4 La fonction objective

Cette partie permet d'expliquer la fonction multi-objectifs qui est utilisée dans le modèle.

$$\max \quad F_x \cdot \sum_{p,j,t,a} x_{ta}^{pj} \quad (1)$$

$$- F_{Arr} \cdot \max_{Arr} \quad (2)$$

$$- F_{Occ} \cdot \max_{Occ} \quad (3)$$

$$- F_{Diff} \cdot \max_{Diff} \quad (4)$$

La fonction objective ci-dessus est composée de 4 objectifs individuels. Le premier objectif, qui est représenté par l'Equation 46, cherche à maximiser le nombre de rendez-vous disponibles pour l'ensemble du service sur la semaine, car la principale mission de l'hôpital est de pouvoir maximiser le nombre de personnes pouvant suivre des soins.

Le deuxième objectif, représenté par l'Equation 47, est centré sur la minimisation du nombre d'arrivées simultanées au sein du service. Chaque patient devra s'enregistrer à l'avenir dès son arrivée au début de son parcours de soins. À noter que pour les patients de nomenclature K, ils ne doivent s'enregistrer qu'une seule fois pour les deux séances. Le lissage de ces arrivées est donc important afin d'éviter des congestions lors de l'enregistrement. Néanmoins, lisser ce flux de patients comporte aussi d'autres avantages sur les infrastructures de l'hôpital, tels que l'accès aux parkings ou encore l'utilisation des ascenseurs.

L'Equation 48 sert à définir le troisième objectif, qui vise à lisser le nombre de patients qui sont dans le service au même moment. Cela permet aussi d'optimiser l'utilisation de certaines infrastructures dans les espaces comme les sièges d'attente ou encore les machines de rééducation, ce qui impacte positivement la qualité des soins, mais aussi le confort des patients.

Le dernier des quatre objectifs, à l'Equation 49, vise à réduire, pour les thérapeutes, les différences entre leurs horaires actuels et les nouveaux horaires générés par l'implémentation de ce modèle mathématique. Les thérapeutes ont mentionné qu'ils voulaient éviter au maximum les modifications de leurs horaires. Il est donc primordial de respecter cela en minimisant ces modifications.

3.5 Les contraintes

Cette section présente et explique la majorité des contraintes utilisées par le modèle. En annexe, dans la section 5.1, toutes les contraintes utilisées dans l'implémentation du modèle sont présentes avec une couleur bleue indiquant les contraintes ou les éléments d'équation qui ne sont pas présentés dans ce chapitre.

3.5.1 Les horaires des thérapeutes

Cette première partie concerne l'ensemble des contraintes qui visent à fixer les bases de l'aménagement des horaires des thérapeutes.

$$\sum_{p,j} y_t^{pj} = \text{NDHS}_t, \quad \forall t \in \mathcal{S}_T \quad (5)$$

$$y_t^{pj} \leq \text{Dispo}_t^{pj}, \quad \forall j \in \mathcal{S}_J, p \in \mathcal{S}_P, t \in \mathcal{S}_T \quad (6)$$

$$(y_t^{p-1,j} + \text{pau}_t^{p-1,j}) + 1 \geq (y_t^{p-2,j} + \text{pau}_t^{p-2,j}) + \sum_{i=0}^{25-p} \frac{y_t^{p+i,j} + \text{pau}_t^{p+i,j}}{22}, \quad (7)$$

$$\forall j \in \mathcal{S}_J, p \in \mathcal{S}_P, p \geq 3, t \in \mathcal{S}_T^{\text{PasCoup}}$$

$$\sum_a z_{ta}^{pj} = y_t^{pj}, \quad \forall p \in \mathcal{S}_P, j \in \mathcal{S}_J, s \in \mathcal{S}_S, t \in \mathcal{S}_T^{\text{Spé}}(s), a \in \mathcal{S}_A^{\text{Spé}}(s) \quad (8)$$

L'Equation 5 mentionne que les thérapeutes doivent impérativement conserver le même temps de travail que dans leur planning actuel, comme mentionné dans le contexte.

Un sondage a été envoyé à l'ensemble des 37 thérapeutes visant, entre autres, à récolter l'ensemble de leurs disponibilités de travail sur la semaine. Cela a permis d'indiquer via l'Equation 6 que leurs nouveaux horaires respectent ces disponibilités.

Ce sondage a aussi permis d'identifier les thérapeutes qui ne souhaitent pas réaliser d'horaires coupés. L'Equation 7 mentionne donc que pour ces thérapeutes, les horaires ne doivent pas être scindés sur une journée. Plus précisément, cette contrainte indique que si un thérapeute ne travaille pas (et n'est pas en pause de midi) à une période x mais qu'il

a travaillé la période juste avant, alors il ne peut plus travailler sur le reste de la journée. Cela vise à empêcher le modèle de faire des coupures de non-travail sur une journée dans les plannings des thérapeutes qui ne le souhaitent pas.

L'Equation 8 précise que lorsque les thérapeutes travaillent, ils doivent nécessairement être assignés à une activité de soins.

3.5.2 Les règles de travail des thérapeutes

Lors d'une restructuration des horaires, il est nécessaire de prendre en compte le règlement de travail de l'entreprise, mais aussi les autres règles de travail qui sont appliquées dans le service.

$$\sum_{i=0}^{TSansP} y_t^{p+i,j} - TSansP \leq \sum_{i=0}^{TSansP} pau_t^{p+i,j}, \quad \forall p \in S_P, p \leq 13, t \in S_T^{Spé}(4), j \in S_J \quad (9)$$

$$\sum_p y_t^{pj} \leq TrMax, \quad \forall j \in S_J, t \in S_T^{Spé}(4) \quad (10)$$

$$\sum_p y_t^{pj} \geq TrMinE \cdot w_t^{4j}, \quad \forall j \in S_J, t \in S_T^{Spé}(4) \quad (11)$$

$$\sum_j w_t^{3j} \leq MaxSoir, \quad \forall t \in S_T^{Spé}(4) \quad (12)$$

$$\sum_p y_t^{pj} \geq TrMinK \cdot w_t^{4j}, \quad \forall j \in S_J, t \in S_T - S_T^{Spé}(4) \quad (13)$$

Dans les 37 thérapeutes, les ergothérapeutes sont salariés au sein de l'hôpital alors que les kinésithérapeutes sont indépendants. Ces derniers ne sont donc pas soumis au règlement du travail du CHwapi.

Le règlement du travail du CHwapi stipule entre autres que chaque salarié ne peut travailler plus de 6 heures consécutives sans prendre de pauses, via Equation 9.

Mais aussi l'Equation 10 qui empêche ces salariés de faire plus de 11 heures de travail par jour ("Règlement de travail du CHwapi", 2024).

Ces salariés possèdent aussi des règles sur les horaires qui sont appliquées par le service. Par exemple, l'Equation 11 qui indique qu'un ergothérapeute doit travailler minimum 3 heures et 30 minutes s'il travaille cette journée-là, ou encore l'Equation 12 qui précise que les salariés ne peuvent pas travailler plus d'1 soir sur la semaine.

L'Equation 13 précise que pour les kinésithérapeutes, qui sont indépendants, la limite sur le nombre d'heures minimum par journée de travail est de 2 heures.

3.5.3 Les pauses de midi

Les pauses de midi sont obligatoires et sont mentionnées dans le règlement de travail du CHwapi.

$$\sum_{p \in S_p^5} \text{pau}_t^{pj} + 1 \geq w_t^{1j} + w_t^{2j}, \quad \forall t \in S_T, j \in S_J \quad (14)$$

$$\text{MinTPau} \cdot \text{pau}_t^{pj} \leq \sum_{i=1}^3 y_t^{p+i,j}, \quad \forall t \in S_T, j \in S_J, p \in S_P, p \leq 22 \quad (15)$$

$$\text{MinTPau} \cdot \text{pau}_t^{pj} \leq \sum_{i=1}^3 y_t^{p-i,j}, \quad \forall t \in S_T, j \in S_J, p \in S_P, p \geq 4 \quad (16)$$

$$\sum_{p \in S_p^5} \text{pau}_t^{pj} \leq \text{TPau}, \quad \forall t \in S_T, j \in S_J \quad (17)$$

$$\text{pau}_t^{pj} = 0, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, p \notin S_p^5 \quad (18)$$

L'Equation 14 précise que les pauses de midi doivent être prises si le thérapeute travaille le matin et l'après-midi.

Celui-ci doit aussi travailler minimum 1 heure et 30 minutes avant et après sa pause de midi comme l'indique l'Equation 15 et l'Equation 16.

Pour l'Equation 17, ces pauses ont une durée fixe, et sont actuellement fixées à 30 minutes, soit 1 période.

Les pauses de midi peuvent uniquement être prises durant la période de midi, l'Equation 18 interdit que des pauses soient planifiées avant 11 : 30 ou après 13 : 30, qui sont aussi les horaires d'ouverture du self de l'entreprise.

3.5.4 La capacité des thérapeutes

Chaque thérapeute possède une capacité du nombre de patients à sa charge qui peut être différente.

$$\sum_{i=0}^{\min(\text{Dur}_a-1, p-1)} x_{ta}^{p-i,j} = \text{occ}_{ta}^{pj}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, a \in S_A \quad (19)$$

$$x_{ta}^{pj} \leq \text{CapArr}_{ta} \cdot z_{ta}^{pj}, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P, t \in S_T, a \in S_A \quad (20)$$

$$\text{occ}_{ta}^{pj} \leq \text{CapOcc}_{ta} \cdot z_{ta}^{pj}, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P, t \in S_T, a \in S_A \quad (21)$$

L'Equation 19 calcule le nombre de patients à charge du thérapeute à chaque période, qui est basé sur le nombre et la période de début de séances et la durée des séances de cette même activité.

L'Equation 20 précise que chaque thérapeute possède aussi une capacité maximale du nombre de patients qu'il peut accueillir à une même période. Cependant, cette capacité maximale de patients à charge pour ce thérapeute à un instant peut être différente du nombre de séances maximum commençant à une même période, comme l'indique l'Equation 21. Par exemple, les kinésithérapeutes en plateau neurologique peuvent accueillir qu'une seule arrivée de patient par période, mais peuvent avoir 2 patients à leur charge simultanément sachant qu'une séance de cette activité dure 2 périodes.

3.5.5 La capacité des espaces

L'espace de kinésithérapie et celui de la main possèdent une limite sur le nombre de thérapeutes pouvant y exercer simultanément.

$$\sum_t z_{t1}^{pj} \cdot \text{UtiMat}_1 + \sum_t z_{t3}^{pj} \cdot \text{UtiMat}_3 \leq \text{CapEsp}_1, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P \quad (22)$$

$$\sum_t z_{t4}^{pj} \cdot \text{UtiMat}_2 \leq \text{CapEsp}_2, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P \quad (23)$$

L'Equation 22 précise la capacité de l'espace de kinésithérapie dont la limite a été calculée en fonction des tables de massage disponibles, qui sont le matériel le plus utilisé par ces thérapeutes, le futur espace en disposera de 17. Le nombre de tables de massage nécessaires par thérapeute en service dans l'espace a été décidé sur base d'un sondage auprès des thérapeutes, et il a été retenu que pour les kinésithérapeutes locomoteurs, 2 tables de massage sont nécessaires par thérapeute. Tandis que pour les kinésithérapeutes de spécialité neurologique, 1 table est suffisante.

Cependant pour l'espace de la main, qui accueille les kinésithérapeutes de spécialité du même nom, la limite est basée sur des postes de travail, qui sont des bureaux de face à face entre le thérapeute et le patient. Ces postes seront au nombre de 4 et chaque thérapeute en a nécessairement besoin d'un lorsqu'il exerce dans l'espace, comme l'indique l'Equation 23.

3.5.6 Les patients de nomenclature K

Comme mentionné dans le contexte, 3 types de patients sont à distinguer, dont ceux de nomenclature M et ceux de nomenclature K. Pour les patients de nomenclature K, il est important que ceux-ci puissent avoir leur séance d'ergothérapie juste avant ou juste après la séance de kinésithérapie sans devoir attendre.

$$\sum_{a,t} x_{ta}^{pj} \cdot \text{PropNom}_a \leq \sum_t (xK_{t1}^{p-\text{Dur}_4,j} + xK_{t2}^{p+\text{Dur}_1,j}), \forall p \in S_P, 3 \leq p \leq 23, j \in S_J \quad (24)$$

$$\sum_{a,t} x_{ta}^{pj} \cdot \text{PropNom}_a \leq \sum_t xK_{t2}^{p+\text{Dur}_1,j}, \quad \forall p \in S_P, p \leq 2, j \in S_J \quad (25)$$

$$\sum_{a,t} x_{ta}^{pj} \cdot \text{PropNom}_a \leq \sum_t xK_{t1}^{p-\text{Dur}_4,j}, \quad \forall p \in S_P, p \geq 24, j \in S_J \quad (26)$$

La proportion de patients qui sont de nomenclature K varie en fonction de la spécialité de kinésithérapie. Et ces proportions ont été calculées via une analyse statistique, réalisée sur les informations de l'année 2024. Pour la spécialité locomotrice, la proportion est de

25 % alors que pour la main elle est de 15 % et en neurologie de 50 %. Sur la base de ces proportions et du nombre de séances de kinésithérapies. L'Equation 24, l'Equation 25 et l'Equation 26 s'assurent qu'il y a constamment le nombre minimum de séances d'ergothérapie disponibles avant ou après les séances de kinésithérapie pour pouvoir accueillir les patients de nomenclature K.

3.5.7 Les séances collectives

Dans le service, il y a aussi des séances collectives qui y sont organisées par certains des thérapeutes. Cependant, pour des raisons de simplicité, mais aussi d'habitude pour les patients et les thérapeutes, les séances collectives conservent leurs horaires actuels ou sont modifiées manuellement en dehors du modèle.

Toutes les contraintes relatives à la planification de ces séances sont présentes en annexe 5.1, de l'Equation 75 à l'Equation 85.

3.5.8 Le calcul des variables pour l'objectif

Cette partie permet de calculer les variables présentes dans 3 des 4 objectifs du modèle.

$$\sum_t (\sum_a x_{ta}^{pj} - xK_{t2}^{pj} - xK_{t1}^{p-Dura,j}) = \text{arr}^{pj}, \quad \forall p \in S_P, p \geq 3, j \in S_J \quad (27)$$

$$\sum_t (\sum_a x_{ta}^{pj} - xK_{t2}^{pj}) = \text{arr}^{pj}, \quad \forall p \in S_P, p \leq 2, j \in S_J \quad (28)$$

$$\text{arr}^{pj} \leq \text{maxArr}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J \quad (29)$$

$$\sum_{t,a} \text{occ}_{ta}^{pj} \leq \text{maxOcc}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J \quad (30)$$

$$y_t^{pj} - \text{Hor}_t^{pj} \leq \text{diff}_t^{pj}, \quad \forall t \in S_T, p \in S_P, j \in S_J \quad (31)$$

$$\text{Hor}_t^{pj} - y_t^{pj} \leq \text{diff}_t^{pj}, \quad \forall t \in S_T, p \in S_P, j \in S_J \quad (32)$$

$$\sum_{p,j} \text{diff}_t^{pj} \leq \text{maxDiff}, \quad \forall t \in S_T \quad (33)$$

Le nombre de patients arrivant dans le service n'est pas identique au nombre de séances débutant à la même période. L'Equation 27 et l'Equation 28 ne comptabilisent qu'une seule arrivée pour les 2 séances des patients de nomenclature K. Pour ces mêmes patients, c'est la période de début de la première des deux séances qui est comptabilisée et pour les patients de nomenclature M c'est identique à la période du début de la séance de kinésithérapie. L'Equation 29 récupère le nombre d'arrivées simultanées le plus élevé de la semaine.

L'Equation 30 calcule le nombre maximal de patients dans le service à un même moment.

L'Equation 31 et l'Equation 32 calculent les différences entre les horaires de base et les nouveaux horaires générés par la résolution du modèle. C'est ensuite à l'Equation 33 d'obtenir le nombre maximal de périodes modifiées entre ces plannings pour un thérapeute.

3.5.9 Les domaines des variables

Chaque variable utilisée par le modèle possède un domaine qui doit être défini.

$$y_t^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (34)$$

$$w_t^{dj} \in \{0, 1\}, \quad \forall d \in S_D, j \in S_J, t \in S_T \quad (35)$$

$$\text{pau}_t^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (36)$$

$$z_{ta}^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, a \in S_A \quad (37)$$

$$\text{diff}_t^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (38)$$

$$x_{ta}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, a \in S_A \quad (39)$$

$$\text{occ}_{ta}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P, a \in S_A, t \in S_T \quad (40)$$

$$xK_{tv}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, v \in S_V \quad (41)$$

$$\text{arr}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J \quad (42)$$

$$\text{maxArr} \geq 0 \quad (43)$$

$$\text{maxOcc} \geq 0 \quad (44)$$

$$\text{maxDiff} \geq 0 \quad (45)$$

L'Equation 34 à l'Equation 38 regroupe l'ensemble des variables binaires.

Les variables de l'Equation 39 à l'Equation 42 sont celles qui ont comme domaines les valeurs entières et positives.

Pour conclure, l'Equation 43 à l'Equation 45 sont les variables qui doivent prendre des valeurs uniquement positives ou égales à 0.

3.6 Conclusion

Ce modèle permet, in fine, de donner de nouveaux plannings individuels à chaque thérapeute, tout cela en respectant l'ensemble des éléments mentionnés dans ce chapitre. Le modèle s'est aussi voulu utile pour pouvoir être réutilisé par la suite pour le service, grâce notamment à l'utilisation de nombreux paramètres dont les valeurs peuvent facilement être modifiées. De plus, certaines parties de ce modèle sont applicables à d'autres situations, comme avec le règlement de travail et les pauses de midi, ou encore par rapport à certaines parties de l'objectif. Ce travail peut inspirer d'autres modèles qui cherchent à optimiser des services hospitaliers ambulatoires.

4 Implémentation

L'ensemble du modèle mathématique, présent dans l'annexe 5.1, a été implémenté dans l'application Xpress, développée par l'entreprise FICO, avec pour objectif de résoudre ce modèle en trouvant une solution optimale.

Les nouveaux plannings, générés par l'implémentation de ce modèle, sont disponibles de la Figure 17 à la Figure 19 en annexe 5.2. Dans cette présentation des plannings, les parties des horaires où une différence est notée entre les plannings actuels et les nouveaux plannings sont représentées par la couleur rouge.

Ce chapitre est divisé en 3 parties : 1) le paramétrage des poids des différents objectifs, entre autres, grâce à la méthode de Pareto, 2) l'impact des nouveaux plannings sur l'espace de kinésithérapie et les arrivées de patients, 3) des analyses managériales afin d'observer l'impact sur la solution du modèle, avec une première analyse concernant une modification de la capacité de patients par thérapeute, une deuxième analyse mesurant l'impact sur les résultats de l'augmentation de la capacité des espaces, et la dernière se concentrant sur une diminution de la période de midi dans laquelle les pauses sont accordées.

4.1 Paramétrage du poids des objectifs

Le paramétrage des poids des objectifs est très important, cela permet en premier lieu d'obtenir la meilleure solution possible, mais aussi d'obtenir un résultat qui répond aux attentes de l'hôpital.

Pour rappel, la fonction objective contient 4 objectifs individuels : la maximisation du nombre de rendez-vous disponibles, la minimisation du nombre de patients dans le service au même moment, la minimisation des arrivées simultanées de patients et la minimisation des changements horaires entre les nouveaux et anciens horaires. Pour le premier objectif, le nombre de rendez-vous disponibles, un poids de valeur 1 a été attribué à son facteur de pondération. En sachant que le nombre de séances sur la semaine est supérieur à 1500, cela indique une pondération très élevée pour cet objectif, car celui-ci est le plus important des 4.

À l'inverse, la minimisation du nombre de patients présents dans le service est celui des 4 qui possède la moindre importance, c'est pour cette raison qu'un poids de 0.1 lui a été

attribué. Pour ces deux premiers objectifs, la valeur de leur facteur de pondération est donc fixée au préalable.

Cependant, pour les 2 derniers objectifs, le nombre d'arrivées simultanées et les différences entre les horaires de bases et ceux générés par le modèle, des analyses ont été réalisées afin d'obtenir le meilleur choix de paramétrage.

Pour choisir la valeur de ces 2 facteurs de pondération, la méthode de Pareto a été utilisée, où l'objectif est de faire varier les poids de ces 2 facteurs de manière à ce que leur somme soit toujours équivalente à 2, et en affichant les différents résultats via un graphique afin de pouvoir décider du choix des poids de ces deux objectifs (BAZGAN et al., 2022).

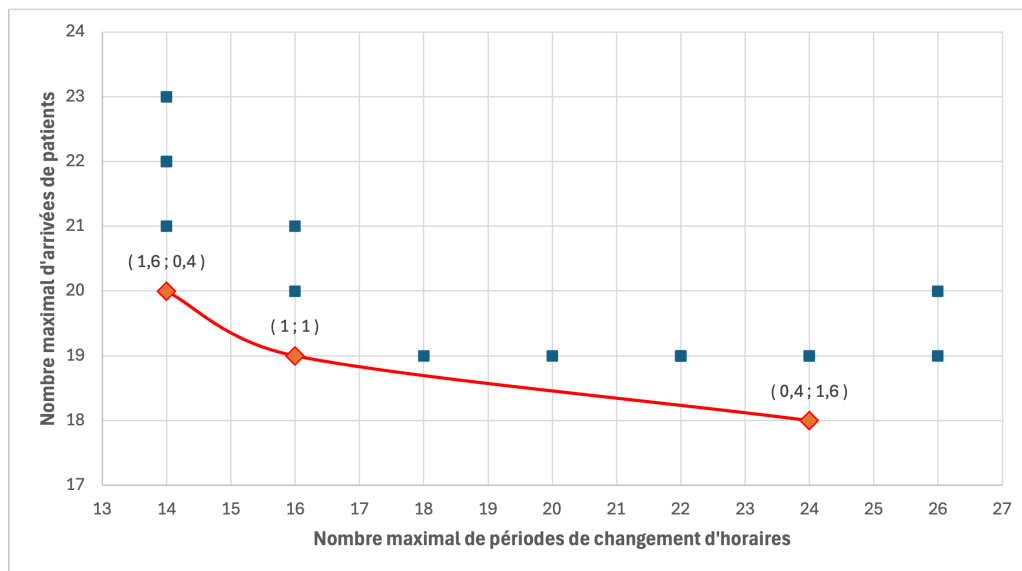


FIGURE 1 – L'impact sur les objectifs de la variation des facteurs de pondération des changements de plannings et des arrivées selon la méthode de Pareto

La Figure 1 représente les différents impacts sur ces 2 objectifs de la modification des poids relatifs à ces mêmes objectifs. Un total de 19 combinaisons a été testé en faisant varier les poids de 0,1 à 1,9 par intervalle de 0,1 en tenant compte que l'augmentation d'un des poids entraîne une diminution équivalente de l'autre facteur de pondération.

La ligne en orange, traversant les 3 combinaisons efficaces, est appelée le front de Pareto qui indique l'ensemble des points efficaces. C'est donc entre ces 3 combinaisons qu'il est nécessaire de choisir pour l'implémentation du modèle.

Entre ces 3 solutions, on peut analyser que vouloir diminuer le nombre d'arrivées simultanées de 20 à 19 engendre une augmentation de 2 périodes de modifications horaires. Et vouloir encore réduire ces arrivées, de 19 à 18, provoque une nette augmentation sur les modifications des horaires de 8 périodes.

Sur base de cette analyse, nous avons conservé le choix de la combinaison la plus "modérée", avec un nombre de 19 arrivées simultanées et 16 périodes de modification horaire. Cette combinaison implique d'avoir une valeur identique à ces 2 facteurs de pondération de 1.

La Table 5 résume les poids utilisés pour l'implémentation.

Objectifs	$\sum_{p,j,t,a} x_{ta}^{pj}$	maxOcc	maxArr	maxDiff
Poids	1	0.1	1	1

TABLE 5 – Le choix des valeurs des facteurs de pondération des objectifs

4.2 Présentation des résultats

Cette partie vise à présenter la solution obtenue par l'implémentation du modèle.

Pour commencer, la Table 6 présente les valeurs des quatre objectifs du modèle. On peut observer que le nombre de séances sur la semaine dépasse les 1 700, alors que le nombre d'arrivées simultanées ne dépasse pas 19. Les changements horaires entre les anciens horaires et ceux générés par le modèle engendrent au maximum 8 h de modification par thérapeute et le nombre de patients dans le service ne dépasse pas 43.

Objectifs	$\sum_{p,j,t,a} x_{ta}^{pj}$	maxOcc	maxArr	maxDiff
Valeurs	1724	43	19	16

TABLE 6 – Les résultats des 4 objectifs de l'implémentation du modèle en annexe 5.1

La suite de cette section démontre l'impact du modèle sur les arrivées de patients, mais aussi sur l'occupation de l'espace de kinésithérapie.

4.2.1 Les arrivées de patients

Les arrivées des patients sont un des points d'amélioration clés du projet. Et pour mieux comprendre son amélioration, la Figure 2 montre le flux des arrivées de patients sur la

semaine la plus chargée de 2024, où l'on peut observer de fortes fluctuations avec des pics de fréquentation toutes les heures. On peut remarquer aussi que le nombre maximum d'arrivées simultanées est de 34, soit 15 de plus que la solution du modèle.

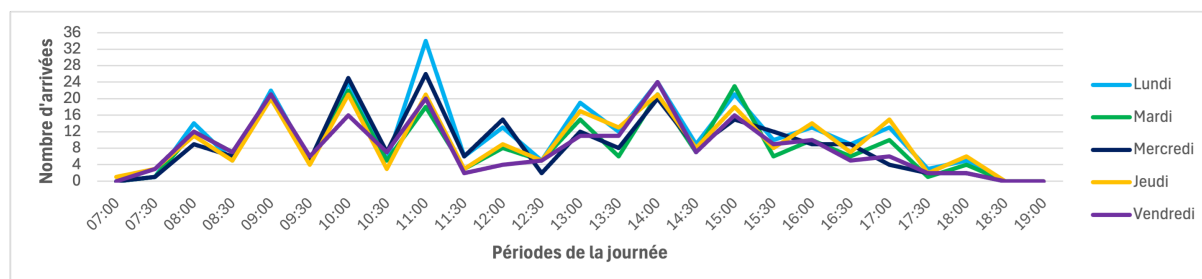


FIGURE 2 – Le flux des arrivées de patients sur la semaine la plus chargée de 2024

Quant à la Figure 3, elle représente la projection des arrivées, via la solution du modèle. On peut facilement observer que le flux est nettement plus lissé. Cette diminution du nombre d'arrivées simultanées maximum n'est pas liée à une baisse du nombre total d'arrivées sur la semaine. Car, sur la semaine la plus chargée de 2024, 1 151 arrivées de patients ont eu lieu alors que, sur la projection via le modèle, 1 333 arrivées sont planifiées. Cette comparaison met en évidence l'impact positif du modèle sur cet objectif.

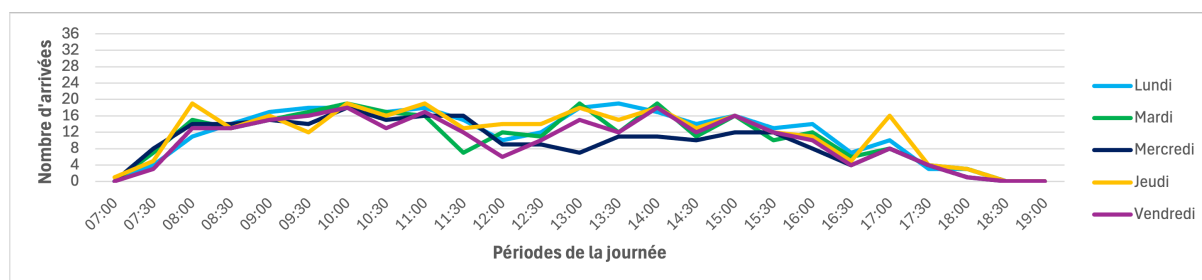


FIGURE 3 – La projection des arrivées des patients avec application de la solution de l'implémentation du modèle en annexe 5.1

Ce lissage des arrivées des patients va permettre d'améliorer le flux aux bornes d'enregistrements à l'entrée du service, mais aussi, à plus petite échelle, sur l'utilisation des infrastructures de l'hôpital telles que le parking ou les ascenseurs.

4.2.2 La capacité des espaces

Le deuxième aspect important de ce projet est de trouver une solution qui respecte la capacité du nombre de thérapeutes pouvant exercer simultanément dans les différents espaces et plus particulièrement dans l'espace de kinésithérapie. À titre de comparaison, la Figure 4 montre le nombre de tables de massage nécessaires dans cet espace si les thérapeutes conservent leurs horaires actuels. Nous pouvons facilement remarquer que le nombre de tables maximum nécessaires serait de 22, cependant la limite prévue dans le futur espace n'est que de 17 tables. Il est donc impératif que la solution du modèle ne dépasse pas cette limite.

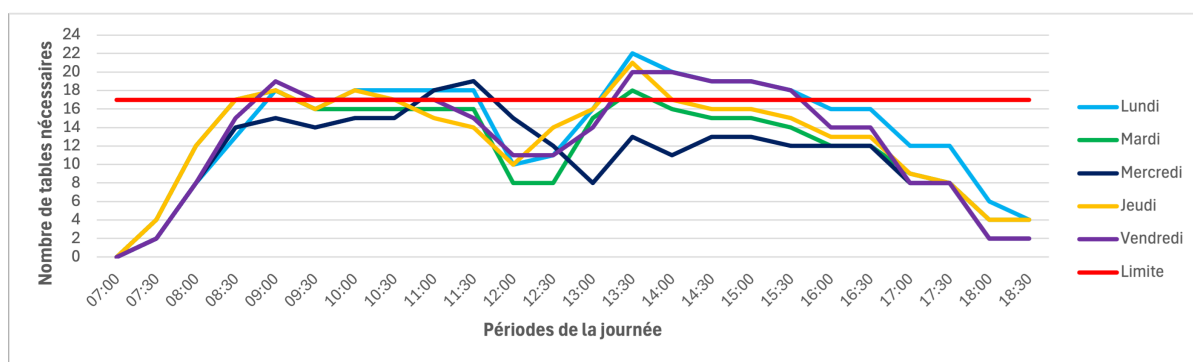


FIGURE 4 – La projection de l'occupation de l'espace de kinésithérapie sur la semaine en conservant les plannings actuels des thérapeutes

La Figure 5 présente l'occupation de cet espace mais en appliquant les résultats obtenus par l'implémentation du modèle. Et nous pouvons directement observer que la limite n'est automatiquement plus dépassée, conformément à la contrainte située à l'Equation 22.

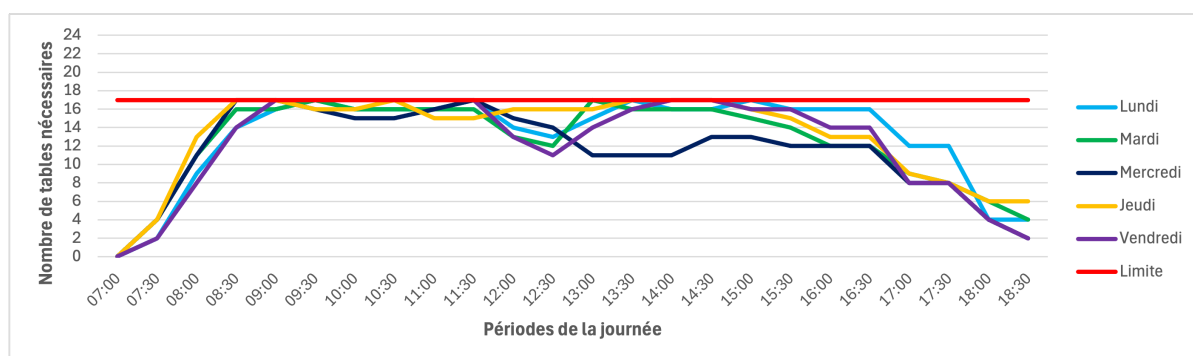


FIGURE 5 – La projection de l'occupation de l'espace de kinésithérapie sur la semaine avec application des nouveaux plannings en annexe 5.2

L'espace de la main présente aussi une limite sur le nombre de thérapeutes. En annexe 5.3, la Figure 20 indique l'occupation de l'espace de la main avec les horaires actuels, et la Figure 21 avec les horaires proposés par la résolution du modèle. Cependant, cette fois-ci, la limite n'est pas franchie si les thérapeutes conservent leurs horaires actuels.

L'importance de respecter cette limite permet d'assurer un confort de travail pour les thérapeutes mais aussi pour la qualité des soins en s'assurant que la disponibilité du matériel soit respectée.

Dans cette section, uniquement la comparaison des espaces de kinésithérapie et de la main a été expliquée. Cependant, les graphiques de comparaison pour l'espace d'ergothérapie sont disponibles en annexe 5.3. La Figure 22 et la Figure 23 mettent en évidence l'occupation de l'espace d'ergothérapie, même si celui-ci ne possède pas une limite de capacité.

4.3 Analyses managériales

Lors des discussions menées avec les coordinateurs du service, nous avons trouvé intéressant d'analyser trois autres scénarios ,qui sont la diminution du nombre de séances débutant à la même période chez les kinésithérapeutes de spécialité locomoteur, ainsi que l'augmentation des capacités de deux espaces, mais aussi la diminution de la période dans laquelle les pauses de midi sont planifiées. Ces trois scénarios vont être réalisés en adaptant les paramètres concernés afin de vérifier l'impact sur les résultats.

4.3.1 La modification des capacités de patients chez les thérapeutes

La première analyse concerne la modification de la capacité, par kinésithérapeute locomoteur, du nombre de séances commençant simultanément. Actuellement, ces thérapeutes commencent 2 à 3 séances en même temps, mais ce chiffre est aussi identique au nombre de patients à leur charge. En sachant que ces séances durent 2 périodes, les patients arrivent donc à la même période, ce qui engendre des fluctuations dans les arrivées des patients. La diminution du nombre maximum de débuts de séances par thérapeute obligerait à répartir sur les 2 périodes les débuts de ces séances. Le scénario est de diminuer ce nombre de débuts de séances chez les thérapeutes de 1.

La question posée par les responsables du service est de savoir si cela permettrait d'améliorer le flux des arrivées, sans trop impacter le nombre de séances de kinésithérapie locomotrice

disponibles. Ce scénario pourrait aussi améliorer la qualité de prise en charge des arrivées de patients par ces thérapeutes.

La Table 7 résume les valeurs des 4 objectifs, suite à l'application de ce changement. Sur base de ces résultats, nous pouvons remarquer que l'impact sur le nombre de séances disponibles est négatif et, plus précisément, les séances de spécialité locomotrice qui passent de 836 à 788, soit une baisse de presque 6 %. Malgré cette diminution des séances, aucun impact positif n'est visible sur le nombre maximum d'arrivées simultanées qui reste de 19.

Objectifs	$\sum_{p,j,t,a} x_{ta}^{pj}$	maxOcc	maxArr	maxDiff
Valeurs	1673	44	19	16

TABLE 7 – Les valeurs des objectifs suite à la modification de la capacité de patients chez les kinésithérapeutes locomoteurs

Cependant, nous pouvons observer plus précisément le flux des arrivées sur la semaine, via la Figure 6, et les comparer au modèle de base à la Figure 3. Il peut être vu qu'il y a moins de fluctuations des arrivées entre certaines périodes de la journée, mais cela reste relativement très faible et le nombre maximum d'arrivées reste tout de même identique.

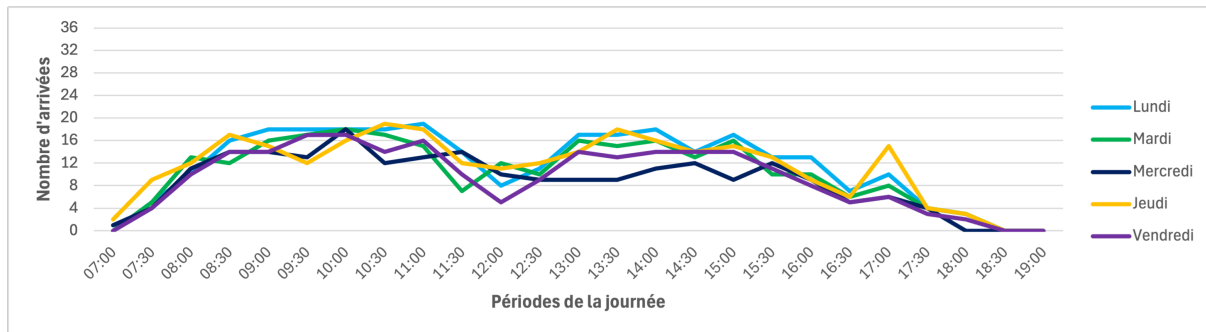


FIGURE 6 – La projection de l'occupation de l'espace de kinésithérapie suite à la modification de la capacité de patients chez les kinésithérapeutes locomoteurs

Ce scénario n'a donc pas réellement l'effet escompté et impacte plus négativement que positivement la solution initiale.

4.3.2 L'augmentation de la capacité des espaces

Le deuxième scénario est celui d'une augmentation de la capacité maximale des espaces de kinésithérapie et de la main. Dans l'espace de kinésithérapie, le nombre de tables disponibles pourrait passer de 17 à 19, en rapprochant certaines tables les unes des autres. Pour l'espace de la main, la possibilité de rajouter un nouveau poste de soins serait envisageable en transformant une table individuelle en table de travail. Ces réorganisations des espaces auraient, cependant, un impact négatif sur le confort des soins, c'est pour cette raison qu'il n'est pas envisagé dans un premier temps. Mais, une analyse de ce scénario permettrait d'observer si cela impacte positivement les modifications des horaires des thérapeutes. Pour rappel, ces changements d'horaires sont une source d'inconfort pour ces prestataires de soins.

La Table 8 indique les valeurs des différents objectifs suite à l'implémentation de cette augmentation de capacité. Et nous pouvons remarquer que ce changement n'apporte pas beaucoup de modifications sur les objectifs, principalement sur l'objectif recherché qui est celui des modifications des horaires, uniquement une diminution de 2 périodes est observée, soit 1 h sur la semaine, un impact relativement faible. Les autres parties de l'objectif n'ont pas évolué mise à part une très faible augmentation de 3 séances disponibles.

Objectifs	$\sum_{p,j,t,a} x_{ta}^{pj}$	maxOcc	maxArr	maxDiff
Valeurs	1727	44	19	14

TABLE 8 – Les valeurs des objectifs suite à la modification de la capacité des espaces de kinésithérapie et de la main

Nous pouvons tout de même observer ce scénario sur l'organisation des espaces concernés, dans un premier temps avec l'espace de kinésithérapie, via la Figure 7. L'augmentation de la capacité de cet espace permet tout de même aux kinésithérapeutes d'utiliser ces 2 tables supplémentaires.

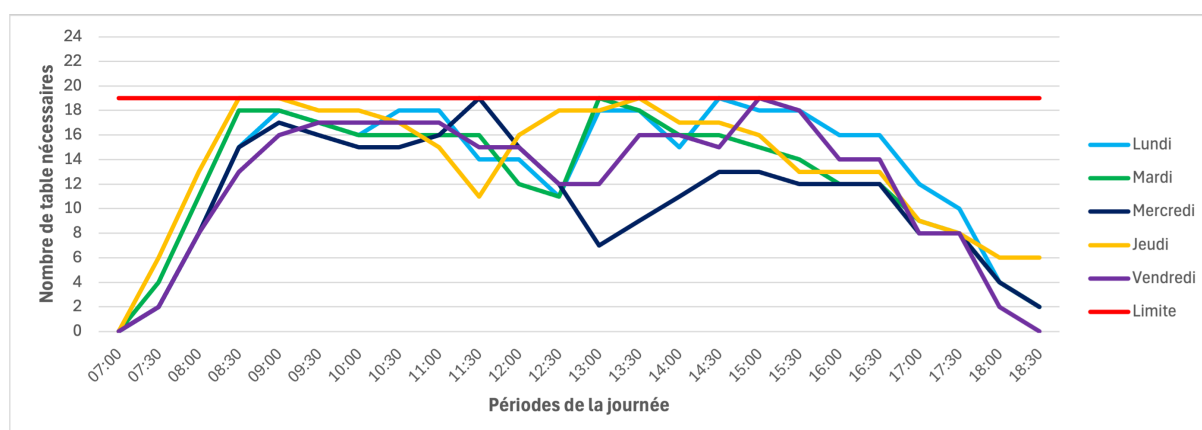


FIGURE 7 – La projection de l’occupation de l’espace de kinésithérapie suite à la modification de la capacité des espaces de kinésithérapie et de la main

Nous pouvons aussi analyser la Figure 8, qui représente l’occupation de l’espace de la main. Et il peut très clairement être observé que la mise en place de ce 5^e poste de travail ne permet pas aux thérapeutes d’en bénéficier. Il n’est donc pas utile de libérer une place supplémentaire dans cet espace pour obtenir une meilleure solution.

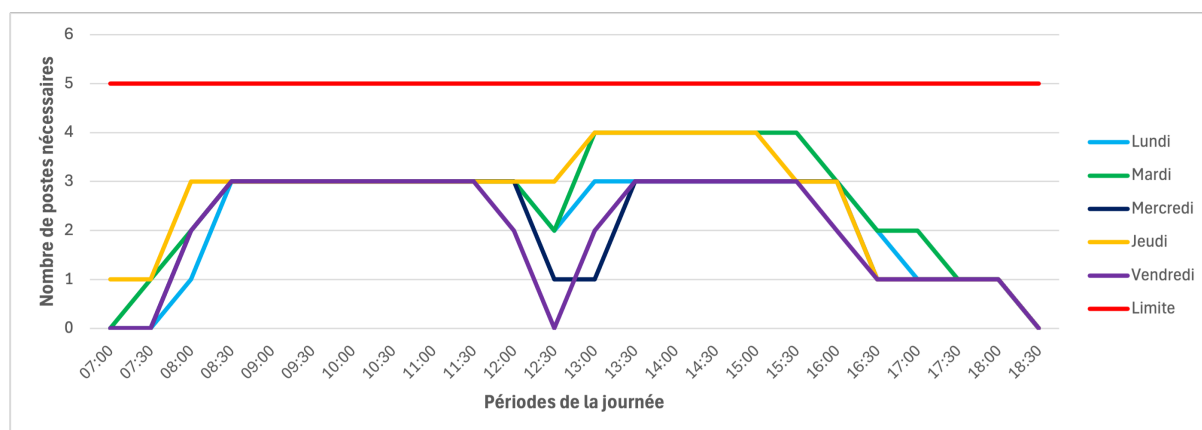


FIGURE 8 – La projection de l’occupation de l’espace de la main suite à la modification de la capacité des espaces de kinésithérapie et de la main

L’augmentation de la capacité de ces 2 espaces n’a pas l’impact espéré à court terme pour le déménagement du service. Cela met en évidence que la capacité prévue actuellement dans ces espaces semble cohérente. Cependant, cette solution peut s’avérer utile à plus long terme. Car elle permettrait d’augmenter le nombre de thérapeutes pouvant exercer

dans ces espaces, ce qui permettrait d'augmenter le nombre de séances planifiées chaque semaine, et naturellement le nombre de patients pouvant être soignés dans ce service de médecine physique ambulatoire.

4.3.3 La diminution de la période des pauses de midi

La dernière analyse de ce mémoire a voulu se centrer sur l'impact d'une diminution de la période où les pauses de midi sont prises. Certains thérapeutes ont fait part qu'ils prenaient régulièrement leur pause de midi seuls ou avec très peu de personnes, donnant un sentiment de solitude. Dans le modèle de base, nous avons considéré que cette période était comprise entre 11 h 30 et 13 h 30. Le scénario essayé dans cette analyse est de réduire cette période de 12 h à 13 h, dans le but d'éviter ces situations de solitude. L'objectif d'avoir plus de personnes prenant leur pause en même temps serait de renforcer la cohésion entre les différents thérapeutes, mais aussi d'améliorer le bien-être de ceux-ci. La question est donc de savoir si ces changements permettent d'améliorer ce problème tout en ne dégradant pas les différents objectifs.

La Table 9 résume les valeurs des objectifs de l'application de ce scénario. On remarque principalement une légère diminution des séances disponibles sur la semaine de 9, ce qui reste relativement très faible. Cependant, une augmentation des changements d'horaires est observée, passant de 16 périodes à 22, soit une augmentation de 3 h sur la semaine, ce qui est relativement important. Les deux autres objectifs restent identiques.

Objectifs	$\sum_{p,j,t,a} x_{ta}^{pj}$	maxOcc	maxArr	maxDiff
Valeurs	1715	43	19	22

TABLE 9 – Les valeurs des objectifs suite à la modification de la période de midi

Nous pouvons observer plus précisément le nombre de personnes en pauses de midi sur chaque moment de la semaine. La Table 10 indique ce nombre sans la diminution du temps de pause de midi. Sur base de ces chiffres, nous savons dire que lorsqu'au moins un thérapeute est en pause, ils sont en moyenne 2,2 personnes en pauses en même temps. La Table 11 indique aussi le nombre de thérapeutes en pause mais avec l'application du scénario. Cette fois-ci, la moyenne est de 3,5 personnes en pause simultanément, c'est une augmentation d'environ une personne en moyenne. De plus, le nombre de périodes où le thérapeute est seul est de 5 et passe à 1 en diminuant ce temps de midi.

	11 : 30	12 : 00	12 : 30	13 : 00
Lundi	2	5	0	0
Mardi	1	3	3	0
Mercredi	0	1	1	3
Jeudi	3	1	2	2
Vendredi	2	3	3	1

TABLE 10 – Le nombre de thérapeutes en pauses via les plannings en annexe 5.2

	12 : 00	12 : 30
Lundi	6	3
Mardi	2	3
Mercredi	2	1
Jeudi	5	3
Vendredi	5	5

TABLE 11 – Le nombre de thérapeutes en pause suite à la modification de la période de midi

Ce scénario engendre aussi une diminution du flux de patients dans le service plus importante sur le temps de midi, comme le montre la Figure 24 disponible en annexe 5.4.

Pour résumé, cette solution peut tout à fait être appliquée par les responsables du service, cela permet de répondre positivement à l'hypothèse faite au début de cette section, disant que cela augmenterait le nombre de thérapeutes en pauses simultanément. Les coordinateurs du service doivent tout de même prendre en compte que cela augmente le nombre d'heures de modifications entre les horaires actuels et les nouveaux horaires, générés par ce modèle. La question pour les coordinateurs est de savoir si l'impact positif sur le nombre de thérapeutes en pause est plus important que l'impact négatif des changements de plannings.

Conclusion

Pour conclure, ce mémoire visait à répondre à un problème concernant la projection de l'ensemble des activités de soins actuelles du service de médecine physique ambulatoire dans le futur hôpital. Les premières analyses ont démontré qu'actuellement, si aucune modification n'est apportée, un conflit sur le dépassement de capacité de l'espace de kinésithérapie surviendrait. Ces analyses ont aussi indiqué, sur base de l'année 2024, que le flux d'arrivées des patients était très variable, le lissage de ces arrivées pourrait être bénéfique pour l'utilisation des bornes d'enregistrement mais aussi des infrastructures d'accès de l'hôpital.

Pour répondre à ce problème, un modèle linéaire en nombres entiers a été construit, dans l'objectif de trouver une solution optimale. Cette solution permet de respecter les différentes disponibilités des thérapeutes dans la construction des nouveaux plannings, tout en limitant au maximum ces changements. Ce modèle permet aussi de saisir cette opportunité pour optimiser le flux de patients, comme avec le lissage des arrivées dans le service.

Les différents graphiques, montrant l'occupation des espaces, permettent aussi de mettre en évidence certaines plages horaires où des disponibilités pour accueillir d'autres thérapeutes sont possibles, dans le but de répondre à l'objectif du centre hospitalier, qui est de maximiser le nombre de séances disponibles pour permettre de soigner une plus grande partie de la population tournaissienne.

Pour finir, trois analyses managériales ont été testées : 1) une diminution de 1 du nombre de séances débutant à la même période pour les kinésithérapeutes locomoteurs, 2) l'analyse sur l'augmentation des capacités de l'espace de kinésithérapie et de la main, 3) la diminution de la période de midi. Et mon opinion concernant les deux premiers scénarios est qu'ils ne doivent pas être envisagés sur le court terme, cependant l'augmentation de la capacité des espaces peut devenir envisageable à plus long terme pour le recrutement de collaborateurs supplémentaires. En ce qui concerne la dernière analyse, je pense que ce choix pour la période des pauses de midi doit être discuté avec les thérapeutes.

D'autres analyses n'ont pas été explorées dans ce mémoire, telles que l'ouverture du service sur d'autres plages horaires comme après 19h30 ou le week-end, ou encore envisager une augmentation du nombre de kinésithérapeutes et d'ergothérapeutes.

Références

- ABDALKAREEM, Z. A., AMIR, A., AL-BETAR, M. A., EKHAN, P., & HAMMOURI, A. I. (2021). Healthcare scheduling in optimization context : a review. *Health and Technology*, 11(3), 445-469. <https://doi.org/10.1007/s12553-021-00547-5>
- AHMADI-JAVID, A., JALALI, Z., & KLASSEN, K. J. (2017). Outpatient appointment systems in healthcare : A review of optimization studies. *European Journal of Operational Research*, 258(1), 3-34. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.064>
- ALA, A., ALSAADI, F. E., AHMADI, M., & MIRJALILI, S. (2021). Optimization of an appointment scheduling problem for healthcare systems based on the quality of fairness service using whale optimization algorithm and NSGA-II [Publisher : Nature Publishing Group]. *Scientific Reports*, 11, 19816. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98851-7>
- ALA, A., & CHEN, F. (2022). Appointment Scheduling Problem in Complexity Systems of the Healthcare Services : A Comprehensive Review [eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1155/2022/5819813>]. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022, 5819813. <https://doi.org/10.1155/2022/5819813>
- BAZGAN, C., RUZIKA, S., THIELEN, C., & VANDERPOOTEN, D. (2022). The Power of the Weighted Sum Scalarization for Approximating Multiobjective Optimization Problems. *Theory of Computing Systems*, 66(1), 395-415. <https://doi.org/10.1007/s00224-021-10066-5>
- BENZAID, M., LAHRICHI, N., & ROUSSEAU, L.-M. (2020). Chemotherapy appointment scheduling and daily outpatient-nurse assignment. *Health Care Management Science*, 23, 34-50. <https://doi.org/10.1007/s10729-018-9462-6>
- BURKE, E. K., CURTOIS, T., QU, R., & VANDEN-BERGHE, G. (2008). Problem Model for Nurse Rostering Benchmark Instances.
- CHEANG, B., LI, H., LIM, A., & RODRIGUES, B. (2003). Nurse rostering problems—a bibliographic survey. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 447-460. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00021-3)
- CHwapi : Un hôpital au coeur de la ville. (2023, août). <https://www.chwapi.be/presse/>
- HESARAKI, A. F., DELLAERT, N. P., & de KOK, T. (2019). Generating outpatient chemotherapy appointment templates with balanced flowtime and makespan. *European Journal of Operational Research*, 275(1), 304-318. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.028>

- HILLIER, F. (2012). *Handbook of Healthcare System Scheduling* — SpringerLink (1^{re} éd., T. 168). Randolph Hall. Récupérée février 13, 2025, à partir de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-1734-7>
- HUANG, Y.-L., SIKDER, I., & XU, G. (2022). Optimal override policy for chemotherapy scheduling template via mixed-integer linear programming. *Optimization Letters*, 16(5), 1549-1562. <https://doi.org/10.1007/s11590-021-01796-z>
- KAANDORP, G., & KOOLE, G. (2007). Optimal outpatient appointment scheduling. *Health Care Management Science*, 10(3), 217-229. <https://doi.org/10.1007/s10729-007-9015-x>
- MILLAR, H. H., & KIRAGU, M. (1998). Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming. *European Journal of Operational Research*, 104(3), 582-592. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00006-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00006-4)
- NGOO, C. M., GOH, S. L., SABAR, N., SZE, S., ABDULLAH, S., & KENDALL, G. (2022). A Survey of the Nurse Rostering Solution Methodologies : The State-of-the-Art and Emerging Trends. *IEEE Access*, 10, 1-1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3177280>
- PIERSKALLA, W., & RATH, G. (1976). Nurse Scheduling Using Mathematical Programming. *Operations Research*, 24(5). <https://doi.org/10.1287/opre.24.5.857>
- RAHIMIAN, E., AKARTUNALI, K., & LEVINE, J. (2017). A hybrid integer and constraint programming approach to solve nurse rostering problems. *Computers & Operations Research*, 82, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.01.016>
- RAMOS, C., CATALDO, A., & FERRER, J.-C. (2020). Appointment and patient scheduling in chemotherapy : a case study in Chilean hospitals. *Annals of Operations Research*, 286(1), 411-439. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-3085-7>
- Règlement de travail du CHwapi. (2024, janvier).
- REZAEIAHARI, M., & KHASAWNEH, M. T. (2017). An optimization model for scheduling patients in destination medical centers. *Operations Research for Health Care*, 15, 68-81. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.09.004>
- VALOUXIS, C., GOGOS, C., GOULAS, G., ALEFRAGIS, P., & HOUSOS, E. (2012). A systematic two phase approach for the nurse rostering problem. *European Journal of Operational Research*, 219(2), 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.042>
- van de VRUGT, N. M., LUEN-ENGLISH, S. T., BASTIAANSEN, W. A. P., KLEINLUCHTENBELD, S., LARDINOIS, W. T. P., POTS, M. H., SCHOONBERGEN, D. J., HANS, E. W., HURINK, J. L., & BOUCHERIE, R. J. (2018). Integrated scheduling of tasks and

- gynecologists to improve patient appointment scheduling ; a case study. *Operations Research for Health Care*, 16, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.11.002>
- WEIL, G., HEUS, K., FRANCOIS, P., & POUJADE, M. (1995). Constraint programming for nurse scheduling. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 14(4), 417-422. <https://doi.org/10.1109/51.395324>
- WELCH, J. D., & BAILEY, N. J. (1952). Appointment systems in hospital outpatient departments. *The Lancet*, 259(6718), 1105-1108. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(52\)90763-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(52)90763-0)

5 Annexes

5.1 Le modèle complet

Ensembles	Tailles
$\mathcal{S}_J = \{1, 2, \dots, J\}$	$J = 5$
$\mathcal{S}_P = \{1, 2, \dots, P\}$	$P = 25$
$\mathcal{S}_T = \{1, 2, \dots, T\}$	$T = 37$
$\mathcal{S}_E = \{1, 2, \dots, E\}$	$E = 4$
$\mathcal{S}_A = \{1, 2, \dots, A\}$	$A = 9$
$\mathcal{S}_D = \{1, 2, \dots, D\}$	$D = 5$
$\mathcal{S}_V = \{1, 2\}$	$V = 2$
$\mathcal{S}_S = \{1, 2, \dots, S\}$	$S = 4$

TABLE 12: Les tailles des ensembles du modèle

Sous-ensembles	Valeurs
$\mathcal{S}_P^d \subset \mathcal{S}_P$	d=1 : $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ d=2 : $\{15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25\}$ d=3 : $\{21, 22, 23, 24, 25\}$ d=4 : $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24\}$ d=5 : $\{10, 11, 12, 13\}$
$\mathcal{S}_T^{Spé}(s) \subset \mathcal{S}_T$	s=1 : $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14\}$ s=2 : $\{15, 16, 17, 18, 19, 20\}$ s=3 : $\{21, 22, 23, 24, 25, 26, 27\}$ s=4 : $\{28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37\}$

$S_T^{PasCoup} \subset S_T$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37\}$
$S_A^{Spé}(s) \subset S_A$	$s=1 : \{1, 5, 6, 7, 8, 9\}$ $s=2 : \{2, 5, 6, 7, 8, 9\}$ $s=3 : \{3, 5, 6, 7, 8, 9\}$ $s=4 : \{4, 5, 6, 7, 8, 9\}$

TABLE 13: Les valeurs des sous-ensembles du modèle

Paramètres	Valeurs
NDHS _t	$t=1 : \{69\}$; $t=2 : \{40\}$; $t=3 : \{60\}$; $t=4 : \{50\}$; $t=5 : \{48\}$; $t=6 : \{41\}$; $t=7 : \{32\}$; $t=8 : \{45\}$; $t=9 : \{59\}$; $t=10 : \{41\}$; $t=11 : \{32\}$; $t=12 : \{45\}$; $t=13 : \{59\}$; $t=14 : \{40\}$; $t=15 : \{50\}$; $t=16 : \{75\}$; $t=17 : \{33\}$; $t=18 : \{48\}$; $t=19 : \{30\}$; $t=20 : \{39\}$; $t=21 : \{65\}$; $t=22 : \{35\}$; $t=23 : \{23\}$; $t=24 : \{20\}$; $t=25 : \{46\}$; $t=26 : \{34\}$; $t=27 : \{25\}$; $t=28 : \{41\}$; $t=29 : \{37\}$; $t=30 : \{37\}$; $t=31 : \{59\}$; $t=32 : \{37\}$; $t=33 : \{0\}$; $t=34 : \{28\}$; $t=35 : \{52\}$; $t=36 : \{37\}$; $t=37 : \{74\}$
Hor _t ^{jP}	voir Figure 9 à Figure 11
Dispo _t ^{pj}	voir Figure 12 à Figure 14
Dur _a	$a=1 : \{2\}$; $a=2 : \{2\}$; $a=3 : \{2\}$; $a=4 : \{1\}$; $a=5 : \{2\}$; $a=6 : \{2\}$; $a=7 : \{4\}$; $a=8 : \{2\}$; $a=9 : \{2\}$
CapOcc _{ta}	voir Figure 15
CapArr _{ta}	voir Figure 16
CapEsp _e	$e=1 : \{17\}$; $e=3 : \{4\}$
PropNom _a	$a=1 : \{0.25\}$; $a=2 : \{0.15\}$; $a=3 : \{0.50\}$

Maxz _a	a=1 :{10000} ; a=2 :{10000} ; a=3 :{10000} ; a=4 :{1000} ; a=5 :{2} ; a=6 :{8} ; a=7 :{8} ; a=8 :{2} ; a=9 :{4}
TSansP	{12}
TrMaxE	{22}
TrMinE	{7}
TrMinK	{4}
TPau	{1}
MaxSoir	{1}
UtiMat _a	a=1 :{2} ; a=2 :{1} ; a=3 :{1}
MinTPau	{3}
Fx, FArr, FOcc, FDiff	Fx :{1} ; FArr :{1} ; FOcc :{0.1} ; FDiff :{1}

TABLE 14: Les valeurs des paramètres du modèle

$$\max \quad (\quad Fx \cdot \sum_{p,j,t,a} x_{ta}^{pj} \quad (46)$$

$$- FArr \cdot \maxArr \quad (47)$$

$$- FOcc \cdot \maxOcc \quad (48)$$

$$- FDiff \cdot \maxDiff) \quad (49)$$

$$\sum_{j,p} y_t^{pj} = \text{NDHS}_t \quad \forall t \in \mathcal{S}_T \quad (50)$$

$$y_t^{pj} \leq \text{Dispo}_t^{pj}, \quad \forall j \in \mathcal{S}_J, p \in \mathcal{S}_P, t \in \mathcal{S}_T \quad (51)$$

$$\sum_a z_{ta}^{pj} = y_t^{pj}, \quad \forall p \in \mathcal{S}_P, j \in \mathcal{S}_J, s \in \mathcal{S}_S, t \in \mathcal{S}_T^{Sp\acute{e}}(s), a \in \mathcal{S}_A^{Sp\acute{e}}(s) \quad (52)$$

$$w_t^{dj} \geq y_t^{pj}, \quad \forall t \in \mathcal{S}_T, j \in \mathcal{S}_J, d \in \mathcal{S}_D, p \in \mathcal{S}_P^d \quad (53)$$

$$(y_t^{p-1,j} + \text{pau}_t^{p-1,j}) + 1 \geq (y_t^{p-2,j} + \text{pau}_t^{p-2,j}) + \sum_{i=0}^{25-p} \frac{y_t^{p+i,j} + \text{pau}_t^{p+i,j}}{22}, \quad (54)$$

$$\forall j \in \mathcal{S}_J, p \in \mathcal{S}_P, p \geq 3, t \in \mathcal{S}_T^{PasCoup}.$$

$$\sum_j w_t^{3j} \leq \text{MaxSoir}, \quad \forall t \in \mathcal{S}_T^{Sp\acute{e}}(4) \quad (55)$$

$$\sum_{i=0}^{\text{TSansP}} y_t^{p+i,j} - \text{TSansP} \leq \sum_{i=0}^{\text{TSansP}} \text{pau}_t^{p+i,j}, \quad \forall p \in \mathcal{S}_P, p \leq 13, t \in \mathcal{S}_T^{Sp\acute{e}}(4), j \in \mathcal{S}_J \quad (56)$$

$$\sum_p y_t^{pj} \leq \text{TrMax}, \quad \forall j \in \mathcal{S}_J, t \in \mathcal{S}_T^{Sp\acute{e}}(4) \quad (57)$$

$$\sum_p y_t^{pj} \geq \text{TrMinE} \cdot w_t^{4j}, \quad \forall j \in \mathcal{S}_J, t \in \mathcal{S}_T^{Sp\acute{e}}(4), t \neq 34 \quad (58)$$

$$\sum_p y_t^{pj} \geq \text{TrMinK} \cdot w_t^{4j}, \quad \forall j \in \mathcal{S}_J, t \in \mathcal{S}_T - \mathcal{S}_T^{Sp\acute{e}}(4) \quad (59)$$

$$\sum_{p \in \mathcal{S}_P^5} \text{pau}_t^{pj} + 1 \geq w_t^{1j} + w_t^{2j}, \quad \forall j \in \mathcal{S}_J, t \in \mathcal{S}_T^{PasCoup} \quad (60)$$

$$\sum_{p \in \mathcal{S}_P^5} \text{pau}_t^{pj} \leq \text{TPau}, \quad \forall t \in \mathcal{S}_T, j \in \mathcal{S}_J \quad (61)$$

$$\text{MinTPau} \cdot \text{pau}_t^{pj} \leq \sum_{i=1}^3 y_t^{p+i,j}, \quad \forall t \in \mathcal{S}_T, j \in \mathcal{S}_J, p \in \mathcal{S}_P, p \leq 22 \quad (62)$$

$$\text{MinTPau} \cdot \text{pau}_t^{pj} \leq \sum_{i=1}^3 y_t^{p-i,j}, \quad \forall t \in S_T, j \in S_J, p \in S_P, p \geq 4 \quad (63)$$

$$\text{pau}_t^{pj} = 0, \quad \forall j \in S_J, t \in S_T, p \in S_P, p \notin S_P^5 \quad (64)$$

$$y_t^{pj} + \text{pau}_t^{pj} \leq 1, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (65)$$

$$\sum_{i=0}^{\min(\text{Dur}_a-1, p-1)} x_{ta}^{p-i,j} = \text{occ}_{ta}^{pj}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, a \in S_A \quad (66)$$

$$x_{ta}^{pj} \leq \text{CapArr}_{ta} \cdot z_{ta}^{pj}, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P, t \in S_T, a \in S_A \quad (67)$$

$$\text{occ}_{ta}^{pj} \leq \text{CapOcc}_{ta} \cdot z_{ta}^{pj}, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P, t \in S_T, a \in S_A \quad (68)$$

$$\sum_t z_{t1}^{pj} \cdot \text{UtiMat}_1 + \sum_t z_{t3}^{pj} \cdot \text{UtiMat}_3 \leq \text{CapEsp}_1, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P \quad (69)$$

$$\sum_t z_{t4}^{pj} \cdot \text{UtiMat}_2 \leq \text{CapEsp}_2, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P \quad (70)$$

$$\sum_{a,t} x_{ta}^{pj} \cdot \text{PropNom}_a \leq \sum_t (xK_{t1}^{p-\text{Dur}_4,j} + xK_{t2}^{p+\text{Dur}_1,j}), \quad \forall p \in S_P, 3 \leq p \leq 23, j \in S_J \quad (71)$$

$$\sum_{a,t} x_{ta}^{pj} \cdot \text{PropNom}_a \leq \sum_t xK_{t2}^{p+\text{Dur}_1,j}, \quad \forall p \in S_P, p \leq 2, j \in S_J \quad (72)$$

$$\sum_{a,t} x_{ta}^{pj} \cdot \text{PropNom}_a \leq \sum_t xK_{t1}^{p-\text{Dur}_4,j}, \quad \forall p \in S_P, p \geq 24, j \in S_J \quad (73)$$

$$x_{t4}^{pj} = \sum_v xK_{tv}^{pj}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (74)$$

$$z_{3,5}^{p4} = 1, \quad \forall p \in S_P, 9 \leq p \leq 10 \quad (75)$$

$$z_{28,6}^{p3} + z_{37,6}^{p,3} = 1, \quad \forall p \in S_P, 7 \leq p \leq 8 \quad (76)$$

$$z_{21,6}^{p3} + z_{25,6}^{p3} = 1, \quad \forall p \in S_P, 7 \leq p \leq 8 \quad (77)$$

$$z_{28,6}^{p4} + z_{37,6}^{p4} = 1, \quad \forall p \in S_P, 8 \leq p \leq 9 \quad (78)$$

$$z_{216}^{p4} + z_{25,6}^{p4} = 1, \quad \forall p \in S_P, 8 \leq p \leq 9 \quad (79)$$

$$z_{6,7}^{p1} = 1, \quad \forall p \in S_P, 9 \leq p \leq 12 \quad (80)$$

$$z_{11,7}^{p4} = 1, \quad \forall p \in S_P, p \geq 22 \quad (81)$$

$$z_{29,8}^{p1} + z_{31,8}^{p1} + z_{34,8}^{p1} = 1, \quad \forall p \in S_P, 7 \leq p \leq 8 \quad (82)$$

$$z_{32,9}^{p1} = 1, \quad \forall p \in S_P, 13 \leq p \leq 14 \quad (83)$$

$$z_{31,9}^{p2} = 1, \quad \forall p \in S_P, 7 \leq p \leq 8 \quad (84)$$

$$\sum_{t,j,p} z_{ta}^{pj} \leq \text{Max}z_a, \quad \forall a \in S_A \quad (85)$$

$$\sum_t \left(\sum_a x_{ta}^{pj} - xK_{t2}^{pj} - xK_{t1}^{p-Dur_a,j} \right) = \text{arr}^{pj}, \quad \forall p \in S_P, p \geq 3, j \in S_J \quad (86)$$

$$\sum_t \left(\sum_a x_{ta}^{pj} - xK_{t2}^{pj} \right) = \text{arr}^{pj}, \quad \forall p \in S_P, p \leq 2, j \in S_J \quad (87)$$

$$\text{arr}^{pj} \leq \text{maxArr}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J \quad (88)$$

$$\sum_{t,a} \text{occ}_{ta}^{pj} \leq \text{maxOcc}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J \quad (89)$$

$$y_t^{pj} - \text{Hor}_t^{jp} \leq \text{diff}_t^{pj}, \quad \forall t \in S_T, p \in S_P, j \in S_J \quad (90)$$

$$\text{Hor}_t^{jp} - y_t^{pj} \leq \text{diff}_t^{pj}, \quad \forall t \in S_T, p \in S_P, j \in S_J \quad (91)$$

$$\sum_{p,j} \text{diff}_t^{pj} \leq \text{maxDiff}, \quad \forall t \in S_T \quad (92)$$

$$y_t^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (93)$$

$$x_{ta}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, a \in S_A \quad (94)$$

$$\text{occ}_{ta}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall j \in S_J, p \in S_P, a \in S_A, t \in S_T \quad (95)$$

$$w_t^{dj} \in \{0, 1\}, \quad \forall d \in S_D, j \in S_J, t \in S_T \quad (96)$$

$$\text{pau}_t^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (97)$$

$$z_{ta}^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, a \in S_A \quad (98)$$

$$xK_{tv}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T, v \in S_V \quad (99)$$

$$\text{maxArr} \geq 0 \quad (100)$$

$$\text{maxOcc} \geq 0 \quad (101)$$

$$\text{maxDiff} \geq 0 \quad (102)$$

$$\text{diff}_t^{pj} \in \{0, 1\}, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J, t \in S_T \quad (103)$$

$$\text{arr}^{pj} \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall p \in S_P, j \in S_J \quad (104)$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
9	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

FIGURE 9 – Les horaires actuels des thérapeutes (Partie 1/3)

14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
16	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
18	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
25	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

FIGURE 10 – Les horaires actuels des thérapeutes (Partie 2/3)

FIGURE 11 – Les horaires actuels des thérapeutes (Partie 3/3)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
9	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

FIGURE 12 – Les disponibilités des thérapeutes (Partie 1/3)

FIGURE 14 – Les disponibilités des thérapeutes (Partie 3/3)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	5	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3	0	0	0	0	0	8	0	0
7	3	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3	0	0	0	0	0	0	0	0
11	3	0	0	0	0	0	8	0	0
12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	2	0	0	0	0	0	0	0
16	0	2	0	0	0	0	0	0	0
17	0	2	0	0	0	0	0	0	0
18	0	2	0	0	0	0	0	0	0
19	0	2	0	0	0	0	0	0	0
20	0	2	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	2	0	0	5	0	0	0
22	0	0	2	0	0	0	0	0	0
23	0	0	2	0	0	0	0	0	0
24	0	0	2	0	0	0	0	0	0
25	0	0	2	0	0	5	0	0	0
26	0	0	2	0	0	0	0	0	0
27	0	0	2	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	1	0	0	0	0	0
29	0	0	0	1	0	0	0	8	0
30	0	0	0	1	0	0	0	0	0
31	0	0	0	1	0	0	0	8	8
32	0	0	0	1	0	0	0	0	8
33	0	0	0	1	0	0	0	0	0
34	0	0	0	1	0	0	0	8	0
35	0	0	0	1	0	0	0	0	0
36	0	0	0	1	0	0	0	0	0
37	0	0	0	1	0	0	0	0	0

FIGURE 15 – La capacité du nombre de patients à charge par thérapeute

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	5	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3	0	0	0	0	0	8	0	0
7	3	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3	0	0	0	0	0	0	0	0
11	3	0	0	0	0	0	8	0	0
12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	1	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	0	0	0	0
18	0	1	0	0	0	0	0	0	0
19	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	1	0	0	5	0	0	0
22	0	0	1	0	0	0	0	0	0
23	0	0	1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	1	0	0	0	0	0	0
25	0	0	1	0	0	5	0	0	0
26	0	0	1	0	0	0	0	0	0
27	0	0	1	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	1	0	0	0	0	0
29	0	0	0	1	0	0	0	8	0
30	0	0	0	1	0	0	0	0	0
31	0	0	0	1	0	0	0	8	8
32	0	0	0	1	0	0	0	0	8
33	0	0	0	1	0	0	0	0	0
34	0	0	0	1	0	0	0	8	0
35	0	0	0	1	0	0	0	0	0
36	0	0	0	1	0	0	0	0	0
37	0	0	0	1	0	0	0	0	0

FIGURE 16 – La capacité du nombre de débuts de séances par thérapeute

5.2 Les nouveaux plannings

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 17 – Les nouveaux plannings générés par l'implémentation des résultats avec mise en évidence des différences avec les plannings actuels (partie 1/3)

5.3 L'occupation des espaces

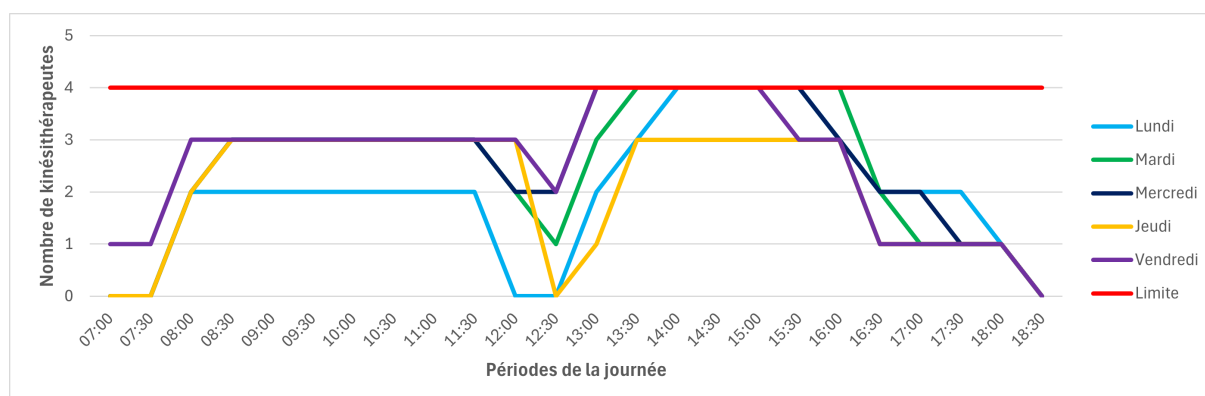


FIGURE 20 – La projection de l'occupation de l'espace de la main en conservant les plannings actuels des thérapeutes

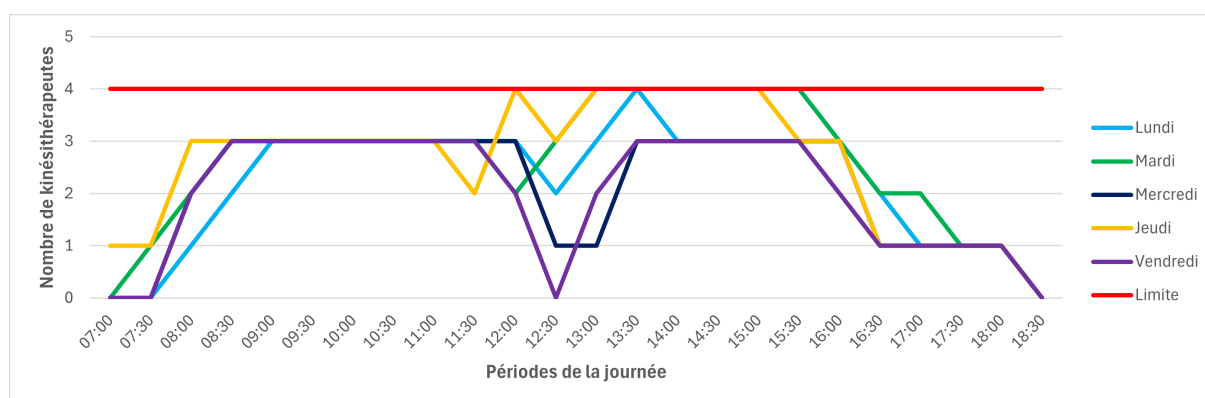


FIGURE 21 – La projection de l'occupation de l'espace de la main avec application des nouveaux plannings en annexe 5.2

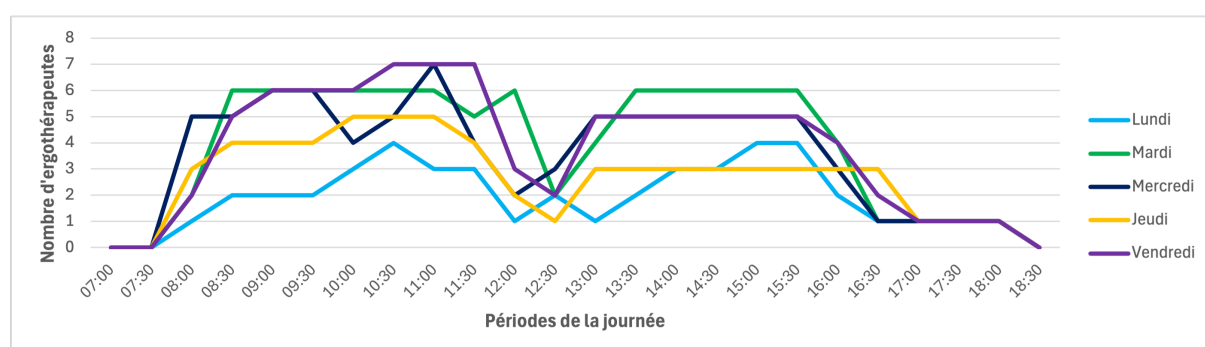


FIGURE 22 – La projection de l'occupation de l'espace d'ergothérapie en conservant les plannings actuels des thérapeutes

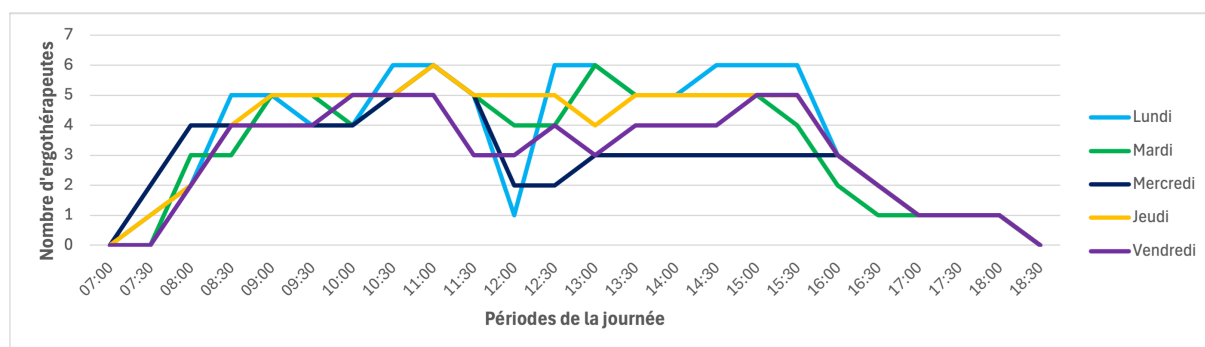


FIGURE 23 – La projection de l'occupation de l'espace d'Ergothérapie avec application des nouveaux plannings en annexe 5.2

5.4 Les arrivées des patients en réduisant la période de midi

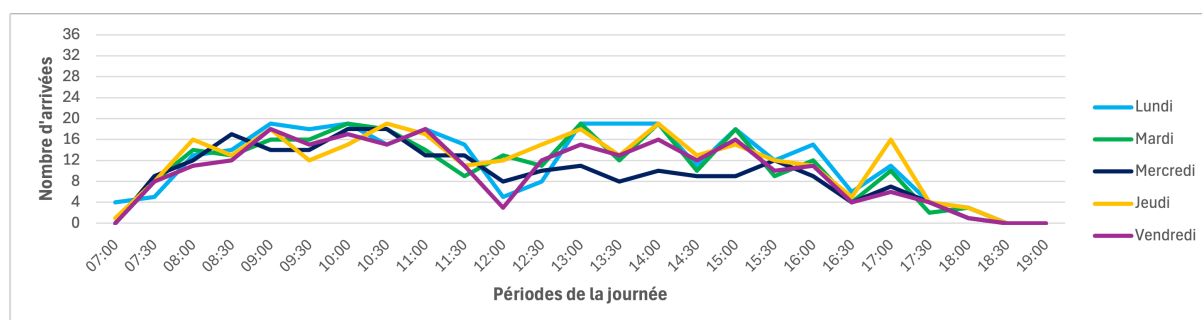


FIGURE 24 – La projection des arrivées de patients avec la diminution de la période des pauses de midi

Résumé : Ce mémoire se focalise sur l'optimisation des plannings du personnel paramédical d'un service ambulatoire de médecine physique, avec de nouveaux plannings horaires construits grâce à l'élaboration d'un modèle mathématique de programmation linéaire en nombres entiers. Ce projet est un cas d'application du service de médecine physique ambulatoire du CHwapi (centre hospitalier de Wallonie picarde). Cette restructuration des différents plannings comporte 4 objectifs principaux: 1) s'assurer du respect de la capacité des espaces de soins, 2) optimiser le flux de patients dans ce service, 3) respecter les disponibilités individuelles du personnel médical, 4) conserver l'ensemble des activités de chaque prestataire de soins.

Ce mémoire est structuré en différentes parties. La première partie présente un contexte théorique, afin de comprendre la construction des modèles mathématiques d'optimisation des plannings des infirmiers et ceux des rendez-vous en milieu hospitalier, suivi d'une mise en contexte du problème. Ensuite, l'ensemble du modèle mathématique est présenté et expliqué. Pour finir, les résultats de l'implémentation du modèle dans un solveur sont analysés, ainsi que trois analyses managériales.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve
Boulevard Emile Devreux 6, 6000 Charleroi, Belgique
Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique
www.uclouvain.be/lsm