

Titre: Approche globale de l'affectation des patients dans une unité de soins intensifs pédiatriques
Title: soins intensifs pédiatriques

Auteur: Célia Mahmoudi
Author:

Date: 2020

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Mahmoudi, C. (2020). Approche globale de l'affectation des patients dans une unité de soins intensifs pédiatriques [Master's thesis, Polytechnique Montréal].
Citation: PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/5530/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/5530/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Nadia Lahrichi
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Approche globale de l'affectation des patients dans une unité de soins intensifs
pédiatriques**

CÉLIA MAHMOUDI

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie industriel

Décembre 2020

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Approche globale de l'affectation des patients dans une unité de soins intensifs pédiatriques

présenté par **Célia MAHMOUDI**

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Antoine LEGRAIN, président

Nadia LAHRICHI, membre et directrice de recherche

Philippe JOUVET, membre

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier l'ensemble des personnes qui m'ont soutenue durant ce projet de recherche et dans l'élaboration de ce mémoire. Je souhaiterais tout d'abord remercier Nadia Lahrichi, directrice de recherche, pour m'avoir aidée à structurer ma recherche et à organiser mon travail et ma réflexion. Puis, au sein du CHU Sainte-Justine, je voudrais avant tout remercier le Dr Philippe Jovet pour sa disponibilité et ses conseils tout au long du projet. Je souhaiterais également remercier Bryan Provost, chef de soins et services aux soins intensifs, et Claudine Thériault, assistante infirmière-chef dans l'unité, qui m'ont permis de réaliser des observations dans l'unité et m'ont aidée à mieux comprendre son fonctionnement. Enfin, je suis reconnaissante envers Sally Al Omar et Michaël Sauthier, pédiatre intensiviste au CHU Sainte-Justine, pour leur réactivité et leur aide lors de la collecte des données.

RÉSUMÉ

L'unité des soins intensifs du CHU Sainte-Justine a un fonctionnement particulier, tout d'abord par ses ratios infirmiers (1 pour 1 ou 1 pour 2), mais surtout pour son organisation spatiale. Sur les 32 chambres qui composent l'unité, certaines sont reliées deux à deux par des alcôves permettant aux infirmières d'avoir une vue sur deux chambres simultanément. Ainsi, lorsqu'une infirmière est en charge de deux patients, ceux-ci doivent se trouver dans des chambres reliées par la même alcôve. Cette disposition permet aux infirmières de diminuer leurs déplacements, mais implique de nombreux transferts de lits intra-unité qui pèsent énormément sur les soins intensifs de par l'intervention de différents membres du personnel hospitalier (AICs, infirmières, préposés aux bénéficiaires etc.).

Les modèles d'affectation des patients aux chambres et des patients aux infirmières sont communs dans la littérature, mais notre étude s'en différencie en proposant une méthode répondant simultanément à ces deux problèmes et en intégrant la notion de transferts de lits comme paramètre de décision. Dans le cadre de ce projet, nous avons débuté par réaliser des observations dans l'unité afin de mieux comprendre son fonctionnement et les processus d'affectation et de transfert. Nous avons alors remarqué qu'en considérant que chaque transfert avait un poids différent et en anticipant les entrées et les sorties, il était possible de diminuer l'impact des transferts sur les SIP. Ainsi, nous avons proposé deux nouvelles méthodes d'affectation des patients basées sur les pistes d'amélioration identifiées. Ces modèles se sont notamment appuyés sur un coût de transfert variable, dépendant des caractéristiques des patients, que nous avons développé et qui quantifie la lourdeur d'un transfert.

Dans cette étude, nous nous intéressons à une approche globale de l'affectation des patients dans l'unité, comme moyen de réduire le nombre de transferts de lits tout en conservant une charge de travail équilibrée entre les infirmières. La première méthode en programmation linéaire en nombres entiers a montré des résultats bien meilleurs que ceux de la pratique courante, en diminuant de 10 en moyenne le nombre de transferts pour une semaine, mais aussi en proposant des transferts 86% moins lourds, tout en permettant de conserver une charge de travail équilibrée. Le temps d'exécution de cette méthode étant parfois très long, nous avons donc également développé une heuristique. En effet, l'unité des soins intensifs pédiatriques ne recherchant pas une résolution exacte, nous avons décidé de proposer plusieurs solutions et de comparer leur performance. Cette

heuristique se base sur le fonctionnement de l'affectation réalisée au CHU Sainte-Justine, mais en améliorant certains paramètres. Celle-ci a permis d'obtenir jusqu'à 8 transferts de moins sur une semaine et d'obtenir un coût de transfert plus faible de 41% en moyenne. Néanmoins, elle s'accompagne d'une dégradation de la charge de travail par rapport à la pratique courante. Les résultats restent tout de même meilleurs en globalité avec l'heuristique d'après la définition de notre fonction objectif. De plus, nous avons également pu démontrer qu'elle restait également efficace en situation d'incertitude, c'est-à-dire lorsqu'il n'était pas possible de prévoir, sur plus d'un quart, les entrées et les sorties des patients. C'est un point important pour une unité de soins intensifs, car la grande majorité de ses patients sont des patients urgents dont l'état de santé peut se dégrader rapidement.

Ainsi, nous avons pu démontrer qu'en intégrant les transferts comme paramètre de décision lors de l'affectation des patients, il était possible d'en diminuer le nombre et le poids, tout en conservant un bon l'équilibre de la charge de travail.

ABSTRACT

The CHU Sainte-Justine's paediatric intensive care unit has a special organisation because of its nurses' ratio (1 for 1 or 1 for 2) and more importantly its spatial arrangement. Among the 32 rooms of the unit, some of them are linked in pairs by alcoves, which enable nurses to see both rooms simultaneously. Thus, when a nurse has to take care of two patients, they must be assigned to two rooms linked by an alcove. This organisation avoids nurses' moves but implies a lot of bed transfers for the patients, which also have a significant weight on the unit because they require the intervention of different members of the medical team (AICs, nurses, care attendants and so on).

The bed-patient assignment and the nurse-patient assignment are common in the literature, but our study stands out by proposing a method solving both problems altogether and including bed transfers as a decision parameter. We first began our study with observations in the unit to understand how it works and how the patients are assigned and transferred. Then we noticed that assuming all transfers as different and predicting admissions and discharges could reduce the impact of transfers in the ICU. Thus, we propose two assignment methods based on those possibilities of improvement. They will use a variable cost of transfer, depending on the characteristics of the patient, we first developed and which measures the weight of a transfer.

In this study, we will focus on a global approach of the patient assignment as a way to reduce the number of bed transfers, while keeping a balanced workload between nurses. The first model in integer linear programming shows better results than the common practice by decreasing by 10 the average of transfers during a week and reducing their weight by 86%, while keeping a good workload. The resolution time was sometimes too long, that is why we also developed a heuristic. Indeed, an exact solution was not the purpose of the unit, so we decided to propose different solutions and compare their performance. This heuristic is based on CHU Sainte-Justine's affectation strategy, but which improves some of the parameters. Thanks to it, the cost of transfer was reduced by 41% and the number of transfers decreasing by 8 through a week. The balance of the workload is not as good as what we could have obtained with the current methodology. However, the chosen objective function shows that the final results are better with the heuristic. Moreover, we demonstrated that our method is still effective under uncertainty when admissions and discharges can't be predicted. This is a major focus point in an intensive care unit because most of the patients are urgent patients whose health condition could quickly decline.

In conclusion, we have shown, through this study, that using transfers as a decision parameter of the patient assignment enables to reduce their number and weight and still have a good balanced workload.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES.....	XV
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVII
LISTE DES ANNEXES.....	XVIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE.....	6
2.1 Les modèles d’affectation des patients aux lits.....	6
2.2 Les modèles d’affectation des infirmières aux patients	12
2.2.1 La mesure de la charge de travail infirmière.....	13
2.2.2 Les modèles d’affectation basés sur la charge de travail infirmière	17
2.3 Les transferts de lits.....	19
CHAPITRE 3 LES SOINS INTENSIFS PÉDIATRIQUES AU CHU SAINTE-JUSTINE	24
3.1 Observations dans l’unité	24
3.2 Collecte et analyse des données du CHU Sainte-Justine	34
3.3 Discussion autour des possibilités d’améliorations identifiées	41
CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE.....	43
4.1 Hypothèses et caractéristiques du problème à résoudre.....	43
4.2 Critères de la fonction objectif	45
4.3 Modèle en programmation linéaire en nombres entiers	46

4.4	Heuristique proposée.....	50
CHAPITRE 5 EXPÉRIMENTATION		56
5.1	Génération des données pseudo-réelles.....	56
5.2	Détermination des poids des critères de la fonction objectif	66
5.3	Détermination des paramètres des heuristiques	70
5.3.1	Le meilleur jumelage et le coût d'un transfert	71
5.3.2	Autres paramètres.....	76
5.4	Comparaison des différentes méthodes et analyse des résultats obtenus.....	79
5.5	Analyse de la sensibilité des heuristiques	88
5.5.1	Au coût de transfert.....	89
5.5.2	Aux anticipations des entrées et des sorties	94
5.5.3	Aux exigences des infirmières et des patients isolés.....	97
CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		101
RÉFÉRENCES.....		104
ANNEXES		107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Résumé des critères de choix d'une chambre utilisés dans la littérature	7
Tableau 2.2 Méthodes de mesure de la charge de travail infirmière dans la littérature	14
Tableau 2.3 Tableau des critères Quanti ² s	16
Tableau 3.1 Nombre de transferts selon le type de quart entre le 1 ^{er} nov. 2018 et le 31 oct.2019	37
Tableau 3.2 Nombre de transferts mensuel	37
Tableau 3.3 Comparaison des scores Quanti ² s entre les patients transférés et l'ensemble des patients de l'unité	40
Tableau 3.4 Comparaison des scores PELOD-2 entre les patients transférés et l'ensemble des patients de l'unité	40
Tableau 3.5 Comparaison de la DMS entre les patients transférés et l'ensemble des patients de l'unité	41
Tableau 4.1 Hypothèses de validité du problème d'affectation	43
Tableau 4.2 Contraintes dures du problème d'affectation	44
Tableau 4.3 Contraintes souples du problème d'affectation	45
Tableau 5.1 : Nombre moyen de patients par mois selon le quart de travail	57
Tableau 5.2 Nombre moyen d'entrées et écart type selon le quart de travail	59
Tableau 5.3 Nombre moyen de sorties et écart-type selon le quart de travail	59
Tableau 5.4 Classement des lois par ordre croissant des SCR	59
Tableau 5.5 Paramètres des lois normales permettant de représenter le nombre d'entrées et de sorties par quart	60
Tableau 5.6 Nombre d'infirmières selon le nombre de patients dans l'unité et le type de quart	62
Tableau 5.7 Répartition des patients selon la catégorie de Quanti ² s et le quart de travail	63
Tableau 5.8 Moyenne et écart-type de la charge de travail par catégorie de Quanti ² s	64

Tableau 5.9 Probabilité de variation du Quanti ² s et intervalle de valeurs selon le quart et la catégorie de la charge de travail.....	65
Tableau 5.10 Exemple des valeurs des critères composants le Quanti ² s	65
Tableau 5.11 Matrice de comparaison pour le sous-problème de l'affectation des patients aux chambres (RC=5,07%)	68
Tableau 5.12 Poids des critères dans la fonction objectif	69
Tableau 5.13 Critères de normalisation.....	69
Tableau 5.14 : Nombre de transferts selon le coût de transfert.....	72
Tableau 5.15 Tableau récapitulatif des poids des facteurs	74
Tableau 5.16 Calcul du coût de transfert pour 10 patients.....	75
Tableau 5.17 Nombre de transferts selon la valeur du critère de variation minimale.....	77
Tableau 5.18 Résultats des critères de l'équilibrage de la charge de travail selon le critère de variation minimale.....	77
Tableau 5.19 Classement des chambres par taux d'occupation.....	78
Tableau 5.20 Caractéristiques des méthodes proposées.....	79
Tableau 5.21 Résultats de la fonction objectif des différentes méthodes pour la semaine 1	80
Tableau 5.22 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Fonction objectif	85
Tableau 5.23 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Nombre de transferts	86
Tableau 5.24 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Autres critères liés aux transferts	86
Tableau 5.25 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes – Critères liés à la charge de travail.....	87
Tableau 5.26 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Fonction objectif.....	89
Tableau 5.27 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés aux transferts	90

Tableau 5.28 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés à l'équilibrage de la charge de travail	90
Tableau 5.29 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Fonction objectif.....	91
Tableau 5.30 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés aux transferts	92
Tableau 5.31 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés à l'équilibrage de la charge de travail	92
Tableau 5.32 Comparaison de l'heuristique SJ et de l'heuristique V avec un coût fixe - Fonction objectif et critères liés aux transferts.....	93
Tableau 5.33 Comparaison de l'heuristique SJ et de l'heuristique V avec un coût fixe - Fonction objectif et critères liés à la charge de travail	94
Tableau 5.34 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Critères liés aux transferts	95
Tableau 5.35 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Fonction objectif	96
Tableau 5.36 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Nombre de transferts	96
Tableau 5.37 Comparaison des heuristiques SJ et V sans anticipation - Fonction objectif et nombre de transferts	97
Tableau 5.38 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement	98
Tableau 5.39 Comparaison des résultats des heuristique V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement – Fonction objectif.....	99
Tableau 5.40 Comparaison des résultats des heuristique V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement – Infirmières et patients isolés	99
Tableau 5.41 Comparaison de l'heuristique SJ et des heuristiques V sans le critère d'isolement	100

Tableau A.1 Tableau des patients dans les chambres quart par quart.....	107
Tableau B.1 Calcul de la SCR entre les 4 meilleures lois et les données du CHU Sainte-Justine pour le nombre de patients par quart.....	108
Tableau B.2 Calcul de la SCR entre les 4 meilleures lois et les données du CHU Sainte-Justine pour le nombre d'entrées et de sorties par quart	108
Tableau C.1 Matrice de comparaison entre les deux sous-problèmes	111
Tableau C.2 Matrice de comparaison pour l'affectation des patients aux infirmières	111
Tableau C.3 Matrice de cohérence pour le critère d'équilibrage de la charge de travail (RC=0,79%)	111
Tableau D.1 Fonction objectif selon le coût de transfert	112
Tableau D.2 Charge maximale selon le coût de transfert	112
Tableau D.3 Charge minimale selon le coût de transfert	112
Tableau D.4 Écart moyen entre la charge maximale et la charge minimale selon le coût de transfert	112
Tableau D.5 Comparaison des résultats pour le critère du coût de transfert.....	113
Tableau E.1 Côtes du formulaire Quanti ² s pour l'indicateur d'oxygénation et de ventilation [28]	115
Tableau E.2 Côtes du formulaire Quanti ² s pour l'indicateur de mouvement de patient et de soins requis [28]	115
Tableau E.3 Côtes du formulaire Quanti ² s pour le critère d'imprévisibilité [14]	116
Tableau E.4 Côtes du formulaire Quanti ² s pour le critère du stade de développement [14]	116
Tableau E.5 Côtes ajustées pour le critère de l'isolement [14].....	116
Tableau E.6 Côtes pour le critère de la catégorie du Quanti ² s	117
Tableau F.1 Comparaison des résultats pour le critère de variation minimale	118
Tableau G.1 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Critères d'isolement	120

Tableau G.2 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Critères des patients transférés	120
Tableau H.1 Temps d'exécution du modèle en programmation linéaire en nombres entiers exprimé en secondes pour chaque quart des 10 instances.....	122
Tableau H.2 Gap observé lors de la résolution du modèle en programmation linéaire en nombres entiers pour chaque quart des 10 instances	123
Tableau I.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Autres critères.....	124
Tableau I.2 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Autres critères.....	124
Tableau I.3 Comparaison des résultats des heuristiques SJ et V avec un coût de transfert fixe – Autres critères	125
Tableau J.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Autres critères.....	126
Tableau J.2 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Autres critères	127
Tableau J.3 Comparaison des heuristiques SJ et V sans anticipation - Autres critères	128
Tableau K.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement - Autres critères.....	130
Tableau K.2 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement - Autres critères.....	131
Tableau K.3 Comparaison des résultats des heuristiques SJ et V sans le critère d'isolement - Autres critères	133

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Variables de décisions pour le modèle en programmation linéaire en nombres entiers de Demeester et al. 2010 [8]	9
Figure 2.2 Fonction objectif pour le modèle en programmation linéaire en nombres entiers de Demeester et al, 2010 [8]	9
Figure 2.3 Les composantes du travail infirmier (basée sur la définition du soins infirmier de l'International Council of Nurses), Morris et al., 2007 [21]	13
Figure 2.4 Variables de décisions du modèle de Mullinax et Lawley, 2002 [6].....	17
Figure 2.5 Fonction objectif du modèle de Mullinax et Lawley, 2002 [6]	17
Figure 2.6 Processus de transfert identifié par Hendrich et Nelson, 2005 [21] (extrait de <i>Nursing Economic\$</i>).....	21
Figure 3.1 Représentation anonyme du tableau de visualisation et de gestion des lits des SIP du CHU Sainte-Justine [36]	28
Figure 3.2 Schématisation de la méthode d'affectation aux SIP - au début du quart	32
Figure 3.3 Schématisation de la méthode d'affectation aux SIP - pendant le quart	32
Figure 3.4 Représentation du nombre de transferts de lits en fonction du nombre de patients différents dans l'unité pour chaque mois de notre intervalle d'étude	38
Figure 3.5 Variation mensuelle du nombre de transferts et de patients	39
Figure 4.1 Pseudocode la fonction <i>somme_acuites</i>	52
Figure 4.2 Pseudocode de la première partie de la fonction <i>br_1</i>	54
Figure 4.3 Pseudocode de la deuxième partie de la fonction <i>br_1</i>	55
Figure 5.1 Comparaison entre les données du CHU Sainte-Justine et les lois de probabilités les plus proches	58
Figure 5.2 Durée de séjour des patients en fonction du Quanti ² s à l'entrée dans l'unité (coeff. de Pearson=0,235).....	61

Figure 5.3 Durée de séjour des patients en fonction du PELOD2 à l'entrée dans l'unité (coeff. de Pearson=0,242).....	61
Figure 5.4 Variation du Quanti ² s des patients entre novembre 2018 et février 2019	62
Figure 5.5 : Variation du Quanti ² s des patients entre mars et juin 2019.....	63
Figure 5.6 Variation du Quanti ² s des patients entre juillet et octobre 2019.....	63
Figure 5.7 Schéma hiérarchique des critères de décision.....	67
Figure 5.8 Graphique représentant les charges maximales affectées à une infirmières sur l'ensemble des quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées.....	81
Figure 5.9 Graphique représentant les charges minimales affectées à une infirmières sur l'ensemble des quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées.....	81
Figure 5.10 Graphique représentant la moyenne des écarts de charge de travail des infirmières sur l'ensemble des quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées	82
Figure 5.11 Graphique représentant les transferts cumulés sur les 21 quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées	83
Figure 5.12 Graphique représentant le nombre cumulé d'infirmières isolées sur les 21 quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées	83
Figure 5.13 Graphique représentant le nombre cumulé de patients isolés sur les 21 quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées	84
Figure B.1 Comparaison des données CHU Sainte-Justine avec les lois les plus représentatives pour le nombre d'entrées et de sorties au quart de jour	109
Figure B.2 Comparaison des données CHU Sainte-Justine avec les lois les plus représentatives pour le nombre d'entrées et de sorties au quart de soir.....	109
Figure B.3 Comparaison des données CHU Sainte-Justine avec les lois les plus représentatives pour le nombre d'entrées et de sorties au quart de nuit	110

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AHP	Analyse Hiérarchique des Procédés
AIC	Assistante infirmière-chef
CHU SJ	Centre Hospitalier Universitaire Sainte-Justine
DMS	Durée moyenne de séjour
FES	Factor evaluation system
ICCA	IntelliSpace Critical Care and Anesthesia
PLNE	Programmation linéaire en nombres entiers
PS	Prototype system
Quanti ² s	Quantification de l'intensité et de l'imprévisibilité du soin
SCR	Somme des carrés des résidus
SIP	Soins intensifs pédiatriques

LISTE DES ANNEXES

Annexe A Extrait du tableau des patients et des chambres.....	107
Annexe B Somme des carrés des résidus des différentes lois testées pour représenter les entrées et les sorties.....	108
Annexe C Tableaux de la méthode AHP	111
Annexe D Comparaison des résultats pour les différents coûts de transfert.....	112
Annexe E Détails des côtes pour les critères du Quanti ² s choisis dans la construction du coût variable	115
Annexe F Comparaison des résultats pour le critère de la variation minimale de la charge de travail	118
Annexe G Résultats des autres critères de comparaison de nos méthodes	120
Annexe H Temps d'exécution et gap observés lors de la résolution du modèle en programmation linéaire en nombres entiers.....	122
Annexe I Comparaison des résultats des heuristiques pour un coût de transfert fixe versus variable	124
Annexe J Comparaison des résultats des heuristiques sans et avec anticipation des entrées et des sorties	126
Annexe K Comparaison des résultats des heuristiques sans et avec évitement des infirmières et des patients isolés	130

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Le Centre Hospitalier Universitaire Sainte-Justine (CHU SJ) est un établissement de santé adressé aux enfants, aux adolescents et aux mères. C'est le plus grand centre de santé mère-enfant au Canada avec 419 lits et plus de 5000 employés [1]. En 2016, le CHU inaugure un nouveau pavillon accueillant une unité agrandie de soins intensifs pédiatriques (SIP). Les SIP possèdent alors 32 chambres individuelles et une organisation adaptée au suivi des patients et à la réalisation des soins [2]. Ils réalisent 731 admissions en 2018-2019 [3].

L'unité des soins intensifs pédiatriques assure la prise en charge des patients 24 heures sur 24, grâce à une équipe médicale et paramédicale pluridisciplinaire. Les patients accueillis présentent ou risquent de présenter une dégradation aiguë de leur état de santé. Il est donc important d'adapter la quantité de soins fournie à leur condition et de toujours effectuer une surveillance étroite. Ainsi, un ratio infirmier d'une infirmière pour un ou deux patients est mis en place, lors d'un fonctionnement normal de l'unité. Les autres soignants (médecins, inhalothérapeutes, physiothérapeutes, pharmaciens ...) sont quant à eux affectés à l'unité et non aux patients.

Pour permettre aux infirmières de surveiller deux patients à la fois dans les meilleures conditions, la nouvelle unité des SIP a été construite selon une architecture particulière. Certaines chambres accolées sont reliées par des alcôves. Ces dernières forment un espace triangulaire entre deux chambres et se composent de fenêtres permettant de voir les deux lits de chaque chambre en même temps. Cette organisation spatiale a pour but de faciliter le travail des infirmières qui s'occupent de deux patients, en réduisant notamment les déplacements entre les chambres. Dans ces alcôves, nous retrouvons également des moniteurs permettant au personnel médical de suivre les constantes vitales de chaque patient sans avoir à être à l'intérieur de la chambre.

Afin d'équilibrer la charge de travail entre les infirmières et de fournir la quantité de soins requise pour chaque patient, de nombreux transferts de lits ont lieu au sein de l'unité. Nous appelons transfert de lit le déplacement d'un patient d'une chambre à une autre de l'unité. Ces transferts permettent d'ajuster le ratio infirmier (1 :1 ou 1 :2) et donc de prévenir la surcharge de travail et ses risques : épuisement professionnel, turn-over important, stress, insatisfaction au travail, etc. [4]. Ils sont donc fondamentaux pour la gestion des ressources de l'unité des soins intensifs. Cependant, les transferts requièrent de la main-d'œuvre et pèsent sur la charge globale de l'unité. En effet,

selon l'état de santé du patient, le déplacement peut nécessiter la présence d'infirmières, de préposés aux bénéficiaires, d'un inhalothérapeute et d'autres membres du personnel soignant. De plus, il est également nécessaire de faire appel à une équipe d'entretien pour nettoyer la chambre. Nous comptons plusieurs centaines de transferts de lits aux SIP chaque année. Ils sont très coûteux à la fois en termes de temps, mais aussi en termes de ressources humaines. Il est aussi important de noter que déplacer des patients critiques, comme c'est le cas dans notre unité d'étude, présente aussi des risques pour le patient. Nous pouvons citer entre autres les conséquences suivantes : l'augmentation de la durée de séjour, des délais de médication, des problèmes de communication entre le personnel et donc une transmission partielle d'informations sur le cas du patient [5]. La gestion des transferts de lits se présente alors comme une problématique majeure aux SIP du CHU SJ.

Notre projet cherche à répondre à la problématique suivante : comment mieux répartir les patients dans l'unité pour réduire le nombre de transferts tout conservant une charge de travail équilibrée entre les infirmières. Une approche alors intéressante à avoir pour répondre à ce problème est d'étudier l'affectation des patients dans l'unité, aussi bien l'affectation des patients aux infirmières que l'affectation des patients aux chambres. Pour cela, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'une méthode d'affectation des patients sur plusieurs quarts permettrait aux SIP de mieux équilibrer la charge de travail entre les infirmières, mais aussi de réduire les transferts de lits.

L'affectation des patients aux infirmières est une problématique courante en recherche opérationnelle, car elle s'inscrit dans une démarche globale de *nurse planning* ou de planification des ressources infirmières. C'est un enjeu fondamental pour les hôpitaux notamment, car les infirmières consomment 40% de leur budget [6]. Nous pouvons découper le processus de *nurse planning* en 4 étapes [7]:

- *Nurse budgeting*, qui définit le budget et détermine le nombre nécessaire d'infirmières selon des prévisions réalisées des besoins de l'établissement.
- *Nurse scheduling*, qui détermine le planning de travail de chaque infirmière selon les requis prévus de chaque unité.
- *Nurse rescheduling*, qui permet de pallier au manque d'infirmières avant le début de chaque quart de travail et d'ajuster le personnel disponible en fonction de l'état de santé des patients

et donc de la situation réelle de l'unité. Cela passe par l'utilisation d'infirmières volantes par exemple.

- *Nurse assignment* qui décide au début de chaque quart quelle infirmière sera affectée à quel(s) patient(s) et donc permet d'ajuster la charge de travail des infirmières.

Dans notre étude, nous nous intéresserons uniquement au *nurse-patient assignment*, les autres étapes étant déjà décidées en amont. A cette problématique s'ajoute celle du placement des patients dans les chambres en tenant compte de la contrainte des alcôves.

L'affectation des patients aux lits ou aux chambres¹ est également une problématique souvent étudiée en recherche opérationnelle. En effet, les lits sont des ressources précieuses et cruciales au sein d'un établissement de santé, leur gestion est donc un point d'attention majeur pour les gestionnaires. Leur objectif est d'atteindre une gestion optimale des lits selon différents critères possibles : temps d'attente, taux d'annulation des admissions, taux d'occupation des lits, besoins du patient, confort du patient, taux d'utilisation des équipements, etc. Nous parlerons alors de *bed management*. Tout comme l'affectation des infirmières, la gestion des lits est un processus complexe constitué de différents sous-processus : la gestion des admissions (*admission scheduling*), la gestion de la capacité d'accueil de l'hôpital pour les urgences notamment (*hospital capacity planning*), l'affectation des patients aux lits (*patient-bed assignment*) etc. [8]. Ces processus sont intrinsèquement liés et dépendants les uns des autres. Dans notre étude, nous nous intéressons uniquement au niveau opérationnel c'est-à-dire à l'affectation optimale des patients aux lits en connaissant déjà en amont le planning des admissions.

Actuellement, aux SIP, le placement des patients dans les chambres et l'affectation des infirmières sont décidés par les assistantes infirmières-chefs (AICs) au début de chaque quart. Celles-ci déterminent selon les admissions, les sorties prévues et le nombre d'infirmières disponibles comment répartir au mieux les patients dans les chambres puis les infirmières aux patients. Ce sont également les AICs qui décident si des transferts de lits doivent avoir lieu. Elles se basent avant

¹ Dans notre étude, les problèmes sont similaires car il y a, au plus, un patient par chambre.

tout sur leur expérience, leur connaissance des patients et les informations sur l'état actuel de l'unité pour décider des meilleures affectations quart par quart.

L'objectif de ce projet de recherche est donc de proposer une méthode d'optimisation de l'affectation des patients aux chambres et aux infirmières aux soins intensifs pédiatriques. Pour cela, nous avons suivi une méthodologie en plusieurs étapes. Nous avons commencé par décrire les transferts de lits (nombre, processus, caractéristiques), puis nous avons établi une méthode de mesure de la charge de travail associée aux transferts afin d'associer un coût à chaque transfert. Enfin, nous avons cherché à établir une méthode d'optimisation des affectations basée sur la charge globale : charge associée aux transferts et charge de travail des infirmières. Pour cela, nous avons à la fois proposé une méthode en programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) mais aussi une heuristique.

Nous nous sommes basés sur des données de l'unité collectées entre le 1^{er} novembre 2018 et le 31 octobre 2019. Nous avons exploité des données issues d'ICCA, l'outil de gestion numérique des dossiers patients utilisé aux SIP. Nous avons utilisé Python pour construire et analyser nos bases de données et Julia pour écrire nos différents modèles. CPLEX a également été utilisé pour résoudre la formulation en programmation linéaire en nombres entiers. Nous avons résolu le problème d'affectation sur 10 instances d'une semaine soit 21 quarts. En analysant les résultats obtenus et en comparant les données issues de la méthode du CHU SJ, de notre heuristique et du modèle en programmation linéaire en nombres entiers, nous remarquons qu'il est possible de diminuer fortement le nombre de transferts et de réaliser des transferts beaucoup moins coûteux. En utilisant la programmation linéaire en nombres entiers, nous obtenons les meilleurs résultats que cela soit en termes de nombre de transferts, d'équilibrage de la charge de travail ou d'isolement des patients et des infirmières. Cependant, ce modèle présente des temps de résolution parfois trop importants pour une utilisation opérationnelle. En utilisant notre heuristique, nous pouvons également réduire le nombre de transferts par rapport à la pratique courante. Cependant, cela s'accompagne d'une légère dégradation de la charge de travail. En analysant la sensibilité de notre heuristique à différents critères, nous avons noté qu'utiliser un coût variable de transfert permettait d'obtenir de bien meilleures affectations selon nos paramètres de décisions.

Ce projet contribuera à la littérature de deux manières. Tout d'abord en fournissant une méthode de calcul du coût d'un transfert de lit basée sur les caractéristiques du patient, mais aussi en

présentant un modèle d'affectation des patients à la fois aux chambres et aux infirmières, et qui prend en compte les transferts de lits. Pour l'hôpital Sainte-Justine, ce projet permettra d'évaluer le nombre de transferts de lits au sein de leur unité des soins intensifs pédiatriques, de déterminer les caractéristiques principales des patients transférés et de déterminer des pistes possibles pour améliorer l'affectation des patients.

Ce mémoire aura la structure suivante. Tout d'abord, le chapitre 2 se composera d'une revue de littérature selon trois axes : les modèles d'affectation des patients aux lits, les méthodes d'affectation des patients aux infirmières et les transferts de lits. Le chapitre 3 décrira l'étude de cas du CHU Sainte-Justine, à savoir nos observations et l'analyse des données collectées. Le chapitre 4 permettra de formaliser le problème à résoudre et de présenter les différentes solutions proposées. Puis le chapitre 5 récapitulera l'ensemble des expérimentations menées et enfin le chapitre 6 conclura notre projet par la synthèse des résultats, les limites de notre approche et les recommandations pour une éventuelle suite à notre étude.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Dans ce projet, nous cherchons à planifier et à optimiser l'affectation des patients aux chambres et aux infirmières dans une unité de soins intensifs pédiatriques pour plusieurs quarts. Les deux critères principaux pour réaliser ces affectations sont d'équilibrer la charge de travail des infirmières, mais aussi de réduire les coûts associés aux transferts de lits. Pour cela, il est donc important de nous intéresser à trois points : les méthodes d'affectation des patients aux lits, les modèles d'affectation des infirmières aux patients basés sur la charge de travail et les transferts de lits.

2.1 Les modèles d'affectation des patients aux lits

Les lits étant une ressource cruciale pour les hôpitaux, leur gestion devient un enjeu majeur et ce à tous les niveaux : stratégique, tactique et opérationnel [9]. Comme l'expliquent Vissers et al. [9] et Hall [10], les décisions stratégiques et tactiques en gestion de lits portent plus particulièrement sur la détermination du nombre de lits nécessaires pour répondre aux besoins du territoire et leur type, la maximisation de l'utilisation des lits (mesure du taux d'occupation par exemple), le choix de la capacité d'accueil de l'établissement en tenant compte des urgences possibles et la gestion macro du flux de patients (mesure du temps d'attente, planning d'admissions). C'est également aux niveaux stratégique et tactique que sont fixées les lignes directrices que doivent suivre les décisions opérationnelles [8]. Ces dernières concernent avant tout une gestion journalière des lits et notamment l'affectation des patients aux lits. Nous définirons ici le problème d'affectation des patients aux lits (ou aux chambres) comme la recherche de la meilleure manière d'assigner les patients à ces ressources en considérant à la fois les particularités des lits, leur disponibilité, les besoins médicaux des patients, leurs préférences et d'autres contraintes externes. Il s'agit donc d'une question à résoudre au niveau opérationnel.

La gestion stratégique et tactique des lits fait l'objet de nombreuses études [8] notamment, car il est difficile de séparer les décisions opérationnelles des directives stratégiques ou tactiques. Ainsi, de nombreux modèles d'affectation des lits aux patients vont également intégrer des considérations stratégiques et notamment la planification des admissions à l'échelle de plusieurs unités ou de l'hôpital. Conforti et al., 2018 [11] vont ainsi chercher à maximiser le nombre de patients admis sur l'horizon de planification en affectant les patients aux lits, Ben Bachouch et al., 2012 [12]

s'intéressent quant à eux au temps d'attente et au nombre d'admissions refusées et Thomas et al., 2013 [13] étudient davantage le flux de patient et le taux d'utilisation des lits lors du processus d'affectation. D'autres modèles vont se centrer sur une approche opérationnelle [8], [14]–[16]. L'objectif principal y est donc d'affecter les patients à la chambre et/ou au lit qui leur correspond le mieux sur toute la durée de leur présence à l'hôpital. La meilleure chambre peut être définie par différents critères. Notre classification Tableau 2.1 s'inspire du travail de Guido et al., 2018 [14] et présente les critères pris en compte par différents auteurs pour choisir la meilleure chambre :

Tableau 2.1 Résumé des critères de choix d'une chambre utilisés dans la littérature

Sources	Contraintes					
	Genre	Unité particulière	Chambre avec un équipement particulier	Âge	Préférences du patient	Isolement
Demeester et al., 2010 [8]	Dure	Souple	Dure Souple	Dure	Souple	Dure
Conforti et al., 2018 [11]	Dure		Dure			
Ben Bachouch et al., 2012 [12]	Dure	Dure				Dure
Thomas et al., 2013 [13]	Dure Souple	Dure Souple	Dure Souple			Dure
Guido et al., 2018 [14]	Dure Souple	Souple	Dure Souple	Dure Souple	Souple	
Ceschia et Schaerf, 2012 [15]	Souple	Dure Souple	Dure Souple	Dure	Souple	
Vancroonenburg et al., 2012 [16]	Souple	Souple	Souple	Souple	Souple	

La contrainte de genre s'applique lorsque les chambres ne peuvent être mixtes. Le critère de l'unité particulière implique que le patient ne peut être pris en charge que par certains services en raison de particularités médicales. Une contrainte similaire s'applique pour les chambres. En effet,

certaines chambres possèdent des équipements spécifiques nécessaires aux soins du patient. Le critère de l'âge impose qu'un patient ne puisse pas être pris en charge dans une unité spécialisée dans une autre tranche d'âge. Par exemple en pédiatrie, seulement les patients de moins de 18 ans sont admis sauf situation exceptionnelle. Les préférences du patient concernent le plus souvent le type de chambre (simple, double). Enfin, la contrainte d'isolement stipule qu'un patient avec une pathologie contagieuse aura une chambre pour lui seule, qu'elle soit simple ou double.

Ces caractéristiques sont souvent propres à l'établissement d'étude ou à l'unité choisie. Cependant, lors de l'affectation des patients aux lits ou aux chambres, certaines contraintes sont toujours considérées comme dures et doivent être respectées : un lit ne peut être affecté qu'à un seul patient (cela implique qu'un lit ne peut être affecté que s'il est disponible), pendant toute la durée du séjour un patient doit toujours être affecté à un lit et/ou une chambre, la capacité de la chambre ne peut pas être dépassée.

L'ensemble des critères à prendre en compte lors de l'affectation d'un patient à un lit peut conduire à des situations où il deviendra nécessaire de transférer un patient que cela soit d'une chambre à une autre : chambre double avec un des patients qui devient contagieux, besoin d'un équipement particulier pour un patient absent de sa chambre actuelle; ou bien d'une unité à une autre : pathologie dont une autre unité est spécialiste, unité pleine, etc. Notre étude portant également sur les transferts de lit, il est intéressant de s'interroger sur comment ils sont gérés par les différents modèles. Conforti et al., 2018 [11], Ben Bachouch et al., 2012 [12] ainsi que Vancroonenburg et al., 2012 [16] interdisent totalement les transferts de lits et de chambres pendant tout le séjour du patient, que cela soit des transferts inter-unités et intra-unité. Dans une seconde approche, Guido et al., 2018 [13] présentent les transferts comme indésirables. Ils doivent être minimisés et pénalisés, de la même manière que dans la proposition de Ceschia et Schaerf, 2012 [15]. Nous observons la même démarche chez Demeester et al., 2010 [8] mais uniquement pour les transferts non prévus. Lorsqu'un patient doit changer d'unité en suivant son cycle de soin, alors le transfert est considéré comme prévu. Par exemple, un transfert vers les soins intensifs après une chirurgie puis un second vers un autre département quand l'état de santé du patient s'améliore est inévitable et n'est donc pas pénalisé.

Pour résoudre le problème d'affectation des patients aux lits sous toutes ces contraintes, plusieurs modèles sont ainsi proposés. Tout d'abord, nous avons des modèles statiques où l'ensemble des

informations nécessaires à l'affectation des patients aux lits est connu à l'avance [8], [11], [12], [14], [17]. Le modèle de Demeester et al., 2010 [8] est particulièrement intéressant pour notre étude, car il se concentre au niveau opérationnel et qu'il autorise les transferts de lits inter-unités. Les auteurs proposent une approche en programmation linéaire en nombres entiers dont l'objectif est « d'assigner les patients aux lits dans le département approprié en tenant compte des besoins médicaux des patients et de leurs préférences et en conservant un nombre de patients équilibré entre les départements » [8]. Ainsi, les variables de décision choisies (Figure 2.1) permettent à la fois de déterminer l'affectation des patients, mais aussi les transferts nécessaires :

- x_{ijk}
 - is 1 if patient P_i is assigned to room R_j on night N_k ;
 - 0 otherwise.
- t_{ijk}
 - is 1 if patient P_i is transferred from room R_j to another room at night N_k ;
 - 0 otherwise.

Figure 2.1 Variables de décisions pour le modèle en programmation linéaire en nombres entiers de Demeester et al. 2010 [8]

La fonction objectif (Figure 2.2) traduit bien la volonté d'affecter les patients aux meilleures chambres en réduisant les transferts :

$$\text{Min} \sum_{ijk} p_{ij} \cdot x_{ijk} + w \cdot t_{ijk},$$

Figure 2.2 Fonction objectif pour le modèle en programmation linéaire en nombres entiers de Demeester et al, 2010 [8]

W représente le poids associé à la violation de la contrainte des transferts et p_{ij} la pénalité associée à l'ensemble des contraintes souples pour le choix d'une chambre (voir Tableau 2.1). La gestion des contraintes dures est quant à elle assurée par une matrice de correspondance entre les patients et les chambres.

Cependant, les modèles statiques ne permettent pas, en général, de tenir compte de l'incertitude à laquelle doivent faire face les gestionnaires lors de l'affectation des patients aux lits [15] et [16].

Et plus particulièrement ce qui concerne l'arrivée de patients urgents et donc non prévus², les admissions repoussées et les dates de sorties qui ne sont pas connues avec exactitude. Ainsi, plusieurs modèles dynamiques vont intégrer les patients non électifs et des délais d'admissions et des durées de séjour variables dans leur définition de la problématique d'affectation [13], [15], [16]. Parmi les modèles proposés, celui de Vancroonenburg et al., 2012 [16] est particulièrement intéressant pour sa gestion des imprévus. Il propose de s'intéresser à chaque étape, non seulement aux patients admis, mais aussi aux patients enregistrés afin « d'anticiper le niveau d'occupation et la demande de chambres » [16] pour les prochaines phases. Ainsi, à chaque instant t du planning d'horizon, de nouvelles informations sont ajoutées au modèle sur les patients qui viennent juste d'être enregistrés, les patients qui sont admis et les patients qui vont sortir. Nous ne pouvons donc pas connaître la durée de séjour des patients avant leur sortie effective ainsi que la date d'entrée des patients qui ne sont pas prévus dans le planning (patients urgents) ou bien l'ensemble des patients qui seront admis ou enregistrés pendant tout l'horizon de planification. Pour gérer ces incertitudes, Vancroonenburg et al [16] définissent quatre types de patients pour chaque étape t' de décision : $A_{t'}$ l'ensemble des patients admis avant t' , $P_{t'}$ l'ensemble des patients enregistrés avant t' , $AP_{t'}$ les patients admis en t' et dont on pense qu'ils seront présents en t et $PP_{t'}$ les patients enregistrés en t' et dont on pense qu'ils seront présents en t , avec $t > t'$. Les patients urgents seront enregistrés et admis au même moment alors que les patients prévus sont enregistrés au préalable.

Le fonctionnement du modèle repose sur la distinction entre patients admis et patients enregistrés. En effet, seuls les patients admis seront toujours affectés à des chambres tandis que les patients enregistrés seront soit affectés à des chambres ce qui permet d'anticiper l'occupation, soit à des *dummy rooms* pour assurer la faisabilité du modèle. Les *dummy rooms* sont des chambres fictives auxquelles peuvent être affectés uniquement les patients enregistrés qui ne peuvent être placés dans les autres chambres pour diverses raisons : l'unité est pleine, aucune chambre ne correspond à leurs caractéristiques au temps t' , etc. L'idée est alors de favoriser les véritables affectations afin d'anticiper au mieux les futures arrivées et de placer chaque patient dans la meilleure chambre

²Ben Bachouch et al., 2012 [12] tiennent compte des patients urgents mais considèrent que les durées de séjours sont fixes dans leur modèle statique. De plus, l'objectif est davantage centré sur la gestion des admissions et de la capacité de l'hôpital plutôt que l'affectation des patients aux lits.

possible durant l'ensemble de son séjour, les transferts étant interdits. La fonction objectif de ce modèle cherche donc à minimiser le coût d'affectation des patients aux chambres. Ce coût prend en compte l'ensemble des contraintes souples défini dans le Tableau 2.1 et qui traduisent l'affinité d'un patient avec une chambre mais aussi l'affectation à des *dummy rooms* en les pénalisant.

De plus, Vancroonenburg et al., 2012 [16] ont également évalué la performance de leur modèle avec anticipation en faisant varier le nombre de patients urgents et la connaissance de la durée de séjour. Pour cela, ils l'ont notamment comparé à la relaxation linéaire du modèle en programmation linéaire en nombres entiers et à un algorithme simulant la pratique courante (modèle où il n'y a pas d'anticipation sur les prochaines arrivées, les patients sont affectés au moment où ils sont admis). Lorsque la durée de séjour est connue avec précision, le modèle avec anticipation est beaucoup plus performant que la pratique courante et ce peu importe le nombre de patients urgents³. Il est également plus performant lorsque la durée de séjour est connue avec moins de précision. Cependant, les résultats obtenus sont globalement moins bons par rapport à la relaxation linéaire dans ce second cas, sans lien particulier avec le nombre de patients urgents.

Ceschia et Schaerf, 2012 [15] vont quant à eux proposer une approche similaire pour anticiper les arrivées et gérer les durées de séjour incertaines en considérant les patients qui seront *potentiellement* présents dans l'hôpital au jour d, toujours en programmation linéaire en nombres entiers. Les patients potentiellement présents regroupent à la fois les patients présents au jour d (déjà prévus) et ceux présents en d-1 qui pourraient rester plus longtemps que la durée estimée. Le modèle cherche à résoudre l'affectation des patients aux lits sur l'horizon de planification en considérant à chaque étape l'affectation du jour précédent et les nouveaux patients admis (dates d'admissions fixes). Au contraire de la proposition de Vancroonenburg et al., 2012 [16], le modèle de Ceschia et Schaerf, 2012 [15] réalisent uniquement l'affectation des patients réellement présents. Sa spécificité vient de la mesure du risque qu'une chambre dépasse sa capacité d'accueil. En effet, la durée de séjour des patients est incertaine, elle peut être plus longue que prévue et donc le patient occupera sa chambre plus longtemps. La proposition de Ceschia et Schaerf, 2012 [15]

³ Lorsque tous les patients sont admis en urgences, alors le modèle de Vancroonenburg et al est identique à la pratique courante car il y aucune anticipation possible.

anticipe donc cette possibilité et cherche à réduire le risque de surcapacité lors de l'affectation dans la fonction objectif.

Les modèles d'affectation présentés précédemment et résolus en programmation linéaire en nombres entiers sont souvent très longs à résoudre pour atteindre l'optimalité [8], [12], [15]. Pour des instances représentant l'affectation des patients aux lits sur deux semaines, avec 6 départements et 20 à 30 chambres par département, le modèle de Demeester et al., 2010 [8] a mis plus de trois heures pour obtenir une première solution et aucune solution optimale n'a pu être trouvée en une semaine. Le modèle de Ceschia et Schaerf [15] ne parvient à résoudre, quant à lui, que les instances de petites tailles sur un horizon de planification court. L'affectation des patients aux lits étant un problème opérationnel, nous cherchons à obtenir une solution rapidement lorsque de nouveaux patients sont admis et la programmation linéaire en nombres entiers ne semble pas répondre à ce critère. Ainsi, des heuristiques et métaheuristiques sont également proposées pour faciliter la résolution [8], [14], [15]. Demeester et al., 2010 [8] ont par exemple développé un algorithme de recherche tabou et Ceschia et Schaerf [15] une résolution par un recuit simulé.

2.2 Les modèles d'affectation des infirmières aux patients

Depuis plusieurs années, les établissements de santé cherchent à améliorer la qualité de leurs soins tout en réduisant fortement les coûts. La gestion des lits n'était alors pas suffisante pour répondre à ces exigences. Les infirmières représentant 40% du budget d'un hôpital [6], [18] et étant une ressource de plus en plus rare [7], [18], [19], le *nurse budgeting*, le *nurse scheduling* et le *nurse patient assignment* ont fait l'objet de nombreuses études afin de trouver des solutions pour réduire les coûts, tout en conservant une quantité et une qualité de soins suffisantes. Ici, nous nous intéressons plus particulièrement à l'affectation des patients aux infirmières (*nurse-patient assignment*) dans le cas où les quotas et les emplois du temps infirmiers sont déjà planifiés. Le processus d'affectation des infirmières ne doit pas uniquement se focaliser sur une réduction des dépenses au niveau stratégique. Comme le présente Allen, 2015 dans son étude « The Nurse-Patient Assignment: Purposes and Decision Factors » [20], les priorités opérationnelles sont tout autres. Ainsi, après avoir interrogé onze infirmières-chefs, elle a pu définir les objectifs principaux du processus d'affectation des patients. Nous retrouvons en premier lieu l'égalité de traitement entre les employés (n=7), la possibilité d'offrir aux patients les meilleurs soins possibles (n=6), le bien-être du personnel (n=6) et l'équilibrage de la charge de travail entre les infirmières (n=6). D'autres

objectifs ont été présentés par les répondants mais ont été beaucoup moins mise en avant. La continuité des soins, par exemple, n'a été citée qu'une seule fois. De ces constats, nous retenons qu'il est nécessaire d'identifier la charge de travail infirmière requise par un patient pour à la fois s'assurer que ce patient reçoive la quantité de soins dont il a besoin, mais aussi qu'une quantité de travail totale comparable soit assignée à toutes les infirmières et qui ne soit pas trop importante pour leur assurer un bien être à l'hôpital. Ainsi, dans cette partie nous allons tout d'abord nous intéresser aux méthodes de mesure de la charge infirmière, puis présenter différents modèles d'affectation basés sur cette charge.

2.2.1 La mesure de la charge de travail infirmière

La charge de travail infirmière n'a pas de définition commune dans la littérature [21], cependant les auteurs s'accordent pour définir trois composantes principales au travail infirmier et dont découle la charge : les activités liées aux soins directs au patient, les activités de soins indirects et les activités autres qui n'ont pas de lien direct avec le patient. Morris et al., 2007 [21] propose le schéma suivant :

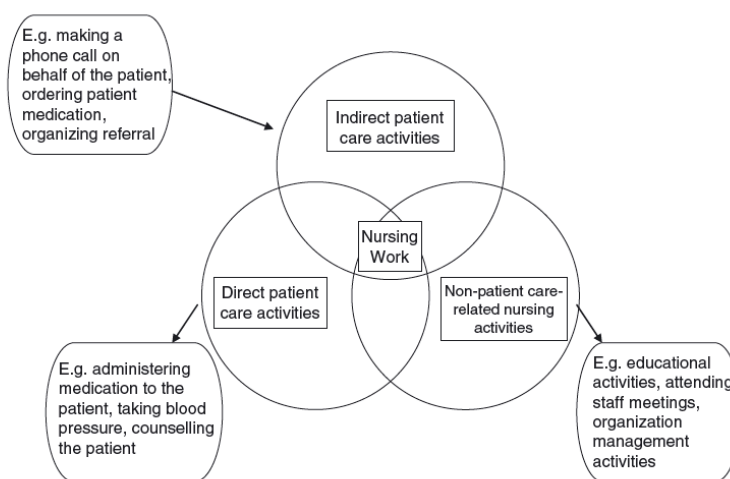


Figure 2.3 Les composantes du travail infirmier (basée sur la définition du soins infirmier de l'International Council of Nurses), Morris et al., 2007 [21]

La charge de travail infirmière est ainsi reliée à l'ensemble des activités des infirmières [22] dont certaines sont liées aux besoins du patient et à son état de santé (acuité du patient). Le choix des actes infirmiers à prendre en compte dans la mesure de la charge dépend de l'unité ou de l'établissement d'étude. Ainsi, il n'existe pas de méthode unique pour la calculer. Nous pouvons

cependant classer les méthodes de mesure de la charge de travail infirmière en deux catégories : le *prototype system* (PS) et le *factor evaluation system* (FES) [6]. Nous parlons également de systèmes basés sur la dépendance et de systèmes basés sur l'activité [23] pour décrire les différentes méthodes de mesures de la charge de travail infirmière.

L'évaluation de la charge de travail infirmière dans le *prototype system* se fait en analysant simultanément différentes caractéristiques du patient et en le plaçant dans la catégorie la plus représentative de sa charge de travail. Dans le *factor evaluation system*, différents indicateurs liés aux besoins du patient et aux activités infirmières qui en découlent sont identifiés. Un score est alors attribué séparément pour chaque indicateur et le score final de charge est obtenu en sommant l'ensemble des valeurs des différents indicateurs. Les méthodes issues du *factor evaluation system* sont les plus répandues dans la littérature [6]. Dans le Tableau 2.2, nous avons regroupé différentes stratégies de mesure issues de littérature. Nous nous sommes particulièrement intéressées aux méthodes utilisées dans les unités de soins intensifs.

Tableau 2.2 Méthodes de mesure de la charge de travail infirmière dans la littérature

Source et nom de la méthode	PS / FES	Caractéristiques de la méthode
Mullinax et Lawley, 2002 [6] <i>Neonatal acuity system</i>	FES	La charge de travail est associée à l'acuité du patient et aux activités infirmières qui y sont rattachées. La méthode se compose de 14 modules : les 13 premiers concernent les soins ordonnés par les médecins et réalisés par les infirmières et le dernier traduit l'imprévisibilité du patient. La majorité des indicateurs sont évalués en mesurant le nombre de fois où l'activité est répétée par jour.
Sir et al., 2015 [18] <i>Sum of Patient Acuity Indicators Weight</i>	FES	Plusieurs types d'indicateurs sont utilisés pour mesurer l'acuité du patient. Ils sont classés dans différentes catégories comme : le support cognitif, le support émotionnel, la préparation de la médication, la gestion des plaies et des blessures, etc. La valeur finale de l'acuité sera ensuite utilisée pour définir le nombre d'infirmières requises et donc la charge.

Tableau 2.2 Méthodes de mesure de la charge de travail infirmière dans la littérature (suite et fin)

Source et nom de la méthode	PS / FES	Caractéristiques de la méthode
Debergh et al., 2012 [24] <i>Nursing activities score</i>	FES	Score composé de 23 items dont les poids respectifs dépendent du temps réel accordé par les infirmières à chaque activité.
Kiekkas et al., 2007 [25] <i>PRN Réa</i>	FES	Méthode issue de Projet de Recherche en Nursing (PRN) développé par Saulnier et al., 1995 et adaptée pour les soins intensifs. Le score est calculé à partir de 35 activités et 87 modalités de traitement, divisées en 8 catégories.
Walts et Kapadia, 1996 [26] <i>Patient classification system</i>	PS	Stratégie qui classe les patients en 8 catégories selon le temps de soins infirmiers requis par le patient et qui traduit la charge infirmière.
Acar et Butt, 2016 [27]	FES	Méthode composée de neuf catégories d'indicateurs dont six traduisent l'acuité du patient et trois sont liés au déplacement des infirmières dans l'unité. La somme des scores des deux catégories forme le score de charge total du patient. Les poids des différents critères ont été calculés par la méthode AHP puis standardisés.
Direction des soins infirmiers, CHU Sainte-Justine, 2018 [28] <i>Quanti²s</i>	FES	Voir détails ci-dessous

Parmi ces méthodes, le Quanti²s est un outil de quantification de l'intensité et de l'imprévisibilité du soin qui a été développé en 2018 au CHU SJ et qui est notamment utilisé en hématologie, aux soins intensifs pédiatriques, aux soins médico-chirurgicaux et en soins pédiatriques. Il « permet d'évaluer et de quantifier l'ensemble du spectre de soins accomplis par l'équipe de soins

infirmiers »[28]. Le Quanti²s se compose de vingt-six indicateurs à mesurer, répartis en seize catégories avec des échelles différentes (voir Tableau 2.3). Il s'agit donc d'une méthodologie du type *factor evaluation system*. Le score Quanti²s s'étend de 11 à 248.

Tableau 2.3 Tableau des critères Quanti²s

Activités effectuées par l'infirmière
1. Évaluation et surveillance des paramètres cliniques
2. Oxygénation / ventilation
3. Médication
4. Tubulures et perfusions
5. Interventions infirmières ou assistance lors d'interventions médicales
6. Mouvement de patient et soins requis
7. Alimentation
8. Élimination
9. Positionnement, mobilisation et soins d'hygiène
10. Examens diagnostiques et laboratoires
11. Isolement
12. Gestion et planification de l'épisode de soins (GPES)
13. Âge
14. Altération à la participation aux soins
15. Travail en partenariat avec la famille
16. Imprévisibilité

Comme nous pouvons le voir, le Quanti²s présente des indicateurs dans chaque catégorie du travail infirmier (Figure 2.3) afin de ne négliger aucune activité pesant sur la charge de travail. Cet outil a été développé dans l'objectif d'être utilisé pour répartir les patients aux infirmières et pouvoir

déléguer des tâches aux autres membres de l'équipe de soins infirmiers (infirmières auxiliaires, préposés aux bénéficiaires).

2.2.2 Les modèles d'affectation basés sur la charge de travail infirmière

Comme expliqué précédemment, la mesure de la charge de travail est utilisée afin de réaliser équitablement l'affectation des patients aux infirmières dans de nombreux modèles. Parmi eux, celui de Mullinax et Lawley, 2002 [6] est souvent utilisé comme référence. Les auteurs cherchent à affecter des infirmières à des groupes d'enfants dans des nurseries en équilibrant la charge de travail. Comme nous l'avons vu dans le Tableau 2.2, ils utilisent une mesure de l'acuité des patients pour traduire la charge de travail infirmière. Ce modèle est particulièrement intéressant dans notre étude, car les infirmières doivent à la fois être affectées à des patients, mais aussi à des zones, comme aux SIP avec les alcôves. La position des patients dans les zones est cependant fixée en amont. Ainsi, deux variables de décision sont définies :

$$\begin{array}{l}
 x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if infant } i \text{ assigned nurse } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 z_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if nurse } j \text{ assigned zone } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{array}$$

Figure 2.4 Variables de décisions du modèle de Mullinax et Lawley, 2002 [6]

Les auteurs appellent $Y_{k,max}$ l'acuité maximale qui a été attribuée à une infirmière dans la zone k et $Y_{k,min}$ l'acuité minimale. Pour équilibrer la charge de travail au sein de chaque zone entre les infirmières, la fonction objectif cherche à minimiser la différence d'acuité entre l'infirmière la plus chargée et l'infirmière la moins chargée.

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^p (Y_{k,max} - Y_{k,min})$$

Figure 2.5 Fonction objectif du modèle de Mullinax et Lawley, 2002 [6]

Comme pour les méthodes d'affectation des patients aux lits, l'affectation des infirmières aux patients est soumise à des contraintes particulières :

- Un patient ne peut être affecté qu'à une seule infirmière
- Chaque infirmière ne peut être affectée qu'à une seule zone

- Les infirmières ne peuvent être affectées qu'à un certain nombre de patients au maximum
- L'acuité maximale qui peut être affectée à une infirmière doit être inférieure à un seuil défini en amont.

Cette formulation en programmation linéaire en nombres entiers présentait un temps de résolution élevé par rapport aux exigences fixées. En effet, les infirmières ont environ trente minutes pour réaliser l'affectation. Ainsi, Mullinax et Lawley, 2002 [6] proposent également une heuristique pour résoudre le problème. Celle-ci résout séparément le problème d'affectation des infirmières aux zones et des infirmières aux patients selon le principe du *first-fit decreasing*. En comparant cette heuristique avec la formulation précédente et la pratique courante, les auteurs ont pu démontrer que l'équilibrage de la charge de travail était meilleur en utilisant une heuristique et plus particulièrement dans le cas de larges instances.

Sur la base du travail de Mullinax et Lawley, 2002 [6], Schaus [29] propose en modèle en programmation par contraintes pour répondre à deux problématiques posées par le modèle en programmation linéaire en nombres entiers. Tout d'abord, la fonction objectif permet d'équilibrer la charge de travail à l'intérieur des zones, mais pas entre les zones. Ainsi, la méthode utilisée par Schaus [29] cherche à minimiser la variance de la charge de travail globale et non la différence entre charge maximale et minimale. Puis, la formulation de Mullinax et Lawley, 2002 [6] ne tient pas compte de la symétrie du problème, toutes les infirmières sont interchangeables. Schaus [29] introduit donc une contrainte obligeant l'affectation à se faire dans l'ordre des indices des infirmières. Il utilise également dans son modèle les mêmes contraintes que celles de Mullinax et Lawley, 2002 [6] réécrites en programmation par contraintes et en adaptant les seuils à son cas d'étude.

D'autres modèles proposent des fonctions objectifs différentes. Sir et al., 2015 [18] ajoute une notion de charge de travail perçue par les infirmières en plus de la charge de travail réelle. Alors qu'ils utilisent la même formulation que Mullinax et Lawley, 2002 [6] dans la fonction objectif pour équilibrer la charge de travail réelle, ils vont plutôt chercher à minimiser la moyenne des charges de travail perçues. Acar et Butt, 2016 [27] vont quant à eux proposer une fonction objectif qui cherche à minimiser la charge de travail maximale et non pas la différence entre charge maximale et charge minimale. De plus, comme expliqué dans le Tableau 2.2, ils développent une mesure de la charge de travail infirmière qui se compose de la somme de deux scores de charge :

le premier lié à l'acuité des patients (score d'acuité) et le second à la distance parcourue par les infirmières selon la zone d'affectation (score de distance). Ainsi, ils proposent deux modèles avec des fonctions objectifs différentes. Le premier minimise séparément le maximum du score d'acuité et le maximum du score de distance et le second minimise le maximum de la charge de travail globale (somme du score d'acuité et du score de distance). En plus des contraintes proposées par Mullinax et Lawley, 2002 [6], Acar et Butt, 2016 [27] ajoutent des contraintes liées au type de patients. Par exemple, une infirmière ne pourra pas être affectée à un patient de chimiothérapie et à un patient avec un isolement particulier en même temps.

Tous les modèles présentés précédemment supposent que la charge de travail d'une infirmière est fixe pendant sa période d'affectation. Or comme l'expliquent Punnakitikashem et al., 2008 [7], l'état de santé d'un patient peut varier pendant un quart de travail passant d'un besoin faible à un besoin important en soins infirmiers. Ainsi, ils vont proposer une modélisation stochastique du problème d'affectation des infirmières aux patients prenant en compte l'incertitude existante sur les besoins des patients pour équilibrer au mieux la charge de travail infirmière.

Si Allen, 2015 [20] met en avant la charge de travail comme critère d'affectation des patients aux infirmières, il ne néglige pas pour autant d'autres facteurs. Par exemple, la correspondance entre les besoins du patient et les qualifications de l'infirmière ($n=5$) ou la continuité des soins ($n=1$) peuvent également être prises en compte dans le processus d'affectation. Ainsi, dans le cadre de notre projet, nous nous intéressons également à un critère supplémentaire : les transferts de lits.

2.3 Les transferts de lits

L'étude des transferts de lits est très importante au CHU Sainte-Justine, d'une part car ils sont très nombreux aux soins intensifs pédiatriques, mais d'autre part, car ils sont fortement liés aux processus d'affectation des patients aux lits et des infirmières aux patients. En effet, comme nous l'avons remarqué en 2.1, la gestion des lits dans un établissement de santé implique des transferts de patients que cela soit à un niveau stratégique, pour mieux gérer le flux de patients, ou à un niveau opérationnel, pour permettre l'affectation de tous les patients aux lits qui leur correspondent. Les transferts dans les hôpitaux sont également de plus en plus nombreux en réponse aux nouvelles exigences stratégiques, tactiques et opérationnelles [30]–[32]. Ils peuvent alors avoir lieu pour des raisons médicales ou non médicales. Hendrich et Nelson, 2005 [21] distinguent trois raisons

pouvant conduire à un transfert dont il faut tenir compte lors de l'affectation des patients aux lits et des infirmières aux patients :

- La capacité technologique des parois murales et plus généralement des chambres (monitoring disponible, pression ...)
- Les compétences cliniques des soignants
- Le nombre d'heures de soins infirmiers requis par le patient par quart/jour qui permet de déterminer comment les patients sont assignés aux lits.

De plus, les transferts ont également un impact sur la charge de travail infirmière [30]–[35]. Leur compréhension est donc essentielle dans l'affectation des patients.

Dans cette partie, nous commencerons par définir les différents types de transferts puis par décrire un processus de transferts et enfin nous terminerons par échanger à propos de l'impact des transferts sur la charge de travail infirmière. Pour cela, nous nous appuyerons notamment sur la thèse de Blay *The Impact of Patient Transfers and Bedspace Moves on Nurse Workload*, présentée en 2015 [32].

Dans un hôpital, différents types de transferts sont possibles : les transferts entre hôpitaux, les transferts entre départements/services/unités et les transferts dans la même unité. Nous utiliserons le terme de transferts de lits pour les transferts intra-unité où un patient est déplacé d'une chambre à une autre au sein de la même unité et le terme global de transfert pour désigner l'ensemble des autres transferts. Comme l'explique Blay [32], les transferts de lits sont peu étudiés dans la littérature de manière isolée⁴. Ils sont souvent associés aux transferts intra-hospitaliers. Dans la suite, nous distinguerons les différents types de transferts, car notre étude ne s'intéresse qu'aux transferts de lits.

Pour étudier le processus des transferts de lits, nous allons tout d'abord nous appuyer sur les travaux de Hendrich et Nelson, 2005 [21] qui cherchent à documenter et à analyser les transferts intra-unité selon quatre axes : le processus, le personnel, le temps et les coûts. Durant cinq mois, les auteurs et leurs assistants de recherche (trois infirmières formées pour cette étude) ont observé 200

⁴ Blay utilisera les termes de *bedspace moves* ou de *bed transfers* pour parler des transferts de lits.

transferts intra-unité et inter-unités aléatoires au sein d'un établissement de soins de santé tertiaires lors de différentes journées et différents quarts de travail. Les observations menées ont suivi une procédure de *time and motion*, où « un observateur indépendant suit un sujet d'étude et mesure en continu le temps des différentes activités réalisées par ce sujet » [32]. Ainsi, Hendrich et Nelson, 2005 ont pu déterminer un processus de transfert et quantifier la durée moyenne de chaque étape (voir Figure 2.6).

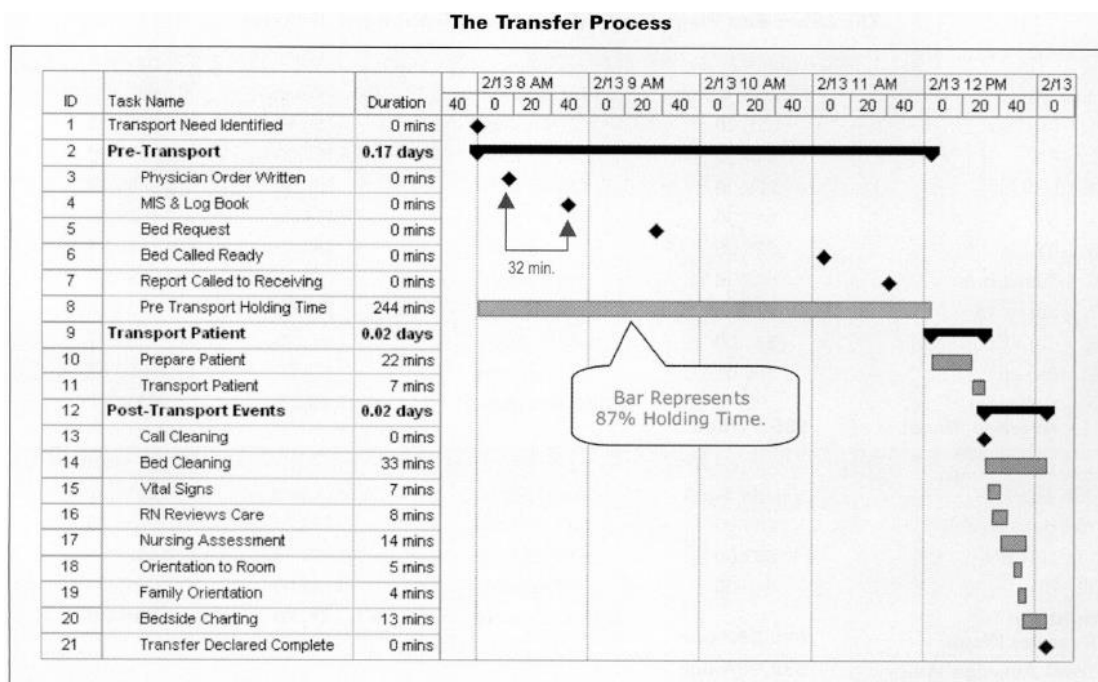


Figure 2.6 Processus de transfert identifié par Hendrich et Nelson, 2005 [21] (extrait de *Nursing Economic\$*)

Ce processus de transfert a été divisé en trois parties : le pré-transfert, le transfert et le post-transfert, chacun composé de plusieurs étapes. Nous remarquons notamment que le pré-transfert est la partie la plus longue en raison de nombreux temps d'attente et plus particulièrement entre le moment où la demande de lit est faite et la mise à disposition du lit. En excluant les temps d'attente, un transfert a une durée moyenne de 60 min avec 22 min pour la préparation du patient, 7 min pour le transport et 31 min pour le post-transfert⁵.

⁵ La somme des différents temps est différente car certaines étapes n'ont pas lieu pour tous les transferts, d'où une durée finale plus faible.

Blay et al., 2017 [30], [32] ont également mené des observations en suivant la procédure de *time-motion*. 75 transferts ont pu être analysés sur sept semaines différentes, pendant tous les jours de la semaine (week-end exclus) entre 8h et 17h. Blay et al., 2017 [30], [32] identifient trois types de transferts: *sending transfers*, *receiving transfers* et *bedspace moves*. Les deux premiers concernent les transferts inter-unité. Ils se différencient en considérant soit l'unité et l'infirmière de départ soit l'unité et l'infirmière d'arrivée. Les *bedspace moves* sont quant à eux des transferts intra-unité, appelés transferts de lits dans notre étude. Le *sending transfer* et la première partie du *bedspace move* débutent lorsque le besoin de transférer un patient a été identifié et qu'un lit est disponible. Ils se terminent lorsque le patient est installé dans sa nouvelle chambre et que l'infirmière de l'unité initiale a retrouvé son poste. De la même manière, le *receiving transfer* et la deuxième partie du *bedspace move* commencent dès que l'infirmière dans la nouvelle unité ou chambre commence à préparer l'arrivée du patient ou en a directement la charge. Ils se terminent lorsque l'infirmière a complété l'ensemble des tâches associées au post-transfert. Pour chaque type de transfert, une liste de 15 activités le composant a été identifiée. Elles sont classées en six catégories : administration, communication, soins directs, documentation, soins indirects et autres. Parmi ces catégories, nous ne remarquons aucune activité en lien avec le nettoyage des chambres, à la différence du processus présenté par Hendrich et Nelson, 2005 [21]. Cela s'explique notamment, car Blay et al., 2017 [30], [32] s'intéressent avant tout à la charge infirmière et pas à la charge globale des transferts sur l'unité. En mesurant le temps de chaque activité, les auteurs ont pu déterminer un temps moyen pour chaque type de transfert : 61,6 minutes pour les *sending transfers*, 68,3 minutes pour les *receiving transfers* et 29,2 minutes pour les transferts de lits. Si ces derniers durent moins longtemps, il est important de noter qu'ils requièrent souvent deux infirmières ou plus pour transporter le patient, car il est souvent nécessaire de le déplacer avec l'ensemble de l'équipement autour de son lit. La charge du transfert est alors plus importante.

Une fois les transferts clairement identifiés, Blay et al., 2017 [30], [32] ont par la suite pu les comptabiliser selon différents critères : par type, par spécialité et par type de quart. Ainsi 34 715 transferts ont été recensés dont 21,6% étaient des transferts de lits et parmi l'ensemble des épisodes de soins des patients 33,5% étaient concernés par un ou plusieurs transferts de lits. Les spécialités qui comptabilisaient le plus de transferts de lits étaient la médecine générale avec 38,6% et la chirurgie avec 23%. Les soins intensifs représentaient 9,9% des transferts de lits (4^e spécialité). Les

analyses des auteurs nous montrent également que les transferts de lits ont avant tout lieu pendant les quarts de jour et de soir avec respectivement 44,6% et 46,1% des transferts.

Cependant, l'impact des transferts de lits sur une unité n'est pas uniquement relié à leur nombre, mais aussi au personnel concerné et aux activités recensées. Hendrich et Nelson, 2005 [21] ont mesuré la charge des transferts intra-unité en associant un coût financier au temps d'activité de chaque employé lié aux transferts. La majorité du temps consommé est du temps infirmier avec 50,4% du temps observé soit 3470 minutes, en comptabilisant uniquement les activités associées aux *registred nurses*. Le coût associé global d'un transfert est par la suite évalué à 31,72\$. Sachant que l'étude se base sur un coût horaire d'une infirmière de 40\$ par heure, nous nous rendons compte qu'un transfert est extrêmement coûteux pour un établissement à la fois en termes de temps, mais surtout d'argent. Blay et al., 2017 [30], [32] ont mesuré l'impact des différents types de transferts en mesurant également le temps de travail infirmier. Les transferts inter-unités consomment en moyenne 41 min de temps infirmier et les transferts de lits 11,3 min. Chaque mois, ce temps infirmier dédié aux transferts correspond à 11,3 infirmières en équivalent temps plein.

Les transferts sont extrêmement lourds en charge de travail et en personnel pour les hôpitaux et donc extrêmement coûteux. Leur étude devient alors un point clé dans la gestion d'un hôpital ou d'une unité dans un contexte de réduction des coûts et d'optimisation du temps infirmier, comme c'est le cas aux SIP du CHU Sainte-Justine.

CHAPITRE 3 LES SOINS INTENSIFS PÉDIATRIQUES AU CHU SAINTE-JUSTINE

Dans cette partie, nous allons décrire et analyser la situation aux soins intensifs pédiatriques du CHU Sainte-Justine, en nous intéressant plus particulièrement à nos trois points d'étude précédents : la méthode d'affectation des patients aux lits, la méthode d'affectation des infirmières aux patients et les transferts de lits. Pour cela, nous débuterons en présentant les observations que nous avons menées aux SIP et dont le but était à la fois de mieux comprendre le fonctionnement global de l'unité, mais aussi d'identifier les stratégies d'affectation et de transfert. Puis, nous décrirons notre démarche de collecte et d'analyse des données quantitatives, ainsi que les difficultés que nous avons rencontrées. Nous nous sommes ici focalisés sur l'estimation du nombre de transferts dans l'unité et la caractérisation des patients transférés. Enfin, nous terminerons par une discussion autour des possibilités d'amélioration des processus d'affectations et de transferts qu'il serait intéressant d'approfondir suite à nos observations.

3.1 Observations dans l'unité

Afin de mieux comprendre le fonctionnement des SIP, des sessions d'observations ont été réalisées et des discussions avec les gestionnaires de l'unité (en présentiel avant le début de la COVID19 et par mail par la suite) ont été organisées. Nous nous sommes également appuyés sur notre connaissance des soins intensifs acquise lors de précédents projets réalisés au CHU SJ [36] pour compléter notre analyse de l'unité. L'ensemble des informations recueillies a été divisé en trois catégories : la présentation des soins intensifs avec ses particularités et les acteurs, la formalisation des méthodes d'affectation des patients par les AICs et la description des transferts de lits.

L'unité des soins intensifs pédiatriques du CHU Sainte-Justine prend en charge des patients dont l'état de santé est critique et/ou instable et nécessitant par conséquent une attention accrue de l'équipe médicale, 24 heures sur 24. Elle est un maillon essentiel entre les unités de soins continus et le service de réanimation. C'est donc un service ultraspécialisé capable de fournir des soins médicaux et chirurgicaux de haute qualité. Les SIP accueillent environ 1000 patients par an provenant à la fois des autres unités de l'établissement, dont le bloc opératoire et les urgences, mais aussi d'autres hôpitaux partout au Québec [37].

Les soins intensifs du CHU SJ possèdent plusieurs particularités, à la fois dans leur gestion des patients, mais aussi de l'espace disponible. Tout d'abord, pour contrôler et suivre au mieux l'état de santé de chaque patient, les quotas infirmiers sont d'une infirmière pour un ou deux patients maximum. Ainsi, lors de la construction d'un nouveau pavillon pour l'établissement de santé, les SIP ont été totalement repensés spatialement. Désormais, ils comporteront 32 chambres individuelles disposées en U autour de l'unité. Cependant, pour permettre aux infirmières de surveiller deux patients simultanément, des alcôves ont été créées entre certaines chambres voisines. Elles forment un creux triangulaire entre deux chambres dans lequel sont disposés des écrans permettant de suivre l'état du patient et où une partie du mur est remplacée par des fenêtres permettant de voir l'intérieur de chaque chambre. C'est cette seconde particularité qui complexifie l'affectation des patients dans l'unité. En effet, une infirmière ne pouvant être affectée qu'à des patients situés dans des chambres formant une alcôve, de nombreux transferts de lits (intra-unité) ont lieu pour respecter cette contrainte. Ces transferts sont assez lourds pour l'unité puisqu'ils mobilisent plusieurs personnes plusieurs fois par jour.

Outre les infirmières qui sont affectées directement aux patients, une équipe de santé multidisciplinaire est présente et assure la prise en charge des patients aux SIP. Il y a donc de nombreux acteurs fondamentaux au fonctionnement de l'unité. Nous présenterons plus particulièrement dans la liste suivante ceux dont les fonctions sont concernées directement par les affectations des patients et les transferts de lits.

Les pédiatres : Ils assurent la prise en charge médicale du patient en collaboration avec l'infirmière à son chevet. Le suivi du patient se fait notamment lors de leur ronde dans l'unité, où les pédiatres consultent chaque patient qui leur est attribué et échangent avec les autres professionnels affectés au cas du patient (pharmacien, inhalothérapeute, etc.).

Les chefs d'équipe : Contrairement aux autres infirmières, elles ne sont pas affectées directement aux patients (sauf en cas de manque d'effectif ou de remplacement temporaire lors d'une pause par exemple). Elles ont avant tout un rôle de coordination des infirmières. En collaboration avec les AICs, elles assurent « la répartition des ressources aux quarts de travail et aux différents patients » [36] selon leur connaissance des compétences de chacun et des caractéristiques des patients.

Les assistantes infirmières-chefs : Les AICs ont pour mission d'assister les chefs d'équipe dans leurs fonctions. Pour cela, elles assurent « la planification, la distribution et l'évaluation des soins

infirmiers » [36]. Plus concrètement, elles décident de l'affectation des patients aux chambres et des infirmières aux patients, elles déterminent les transferts de lits à réaliser, elles assurent la continuité du suivi de l'état de santé du patient, etc. Ce sont des acteurs centraux et fondamentaux pour le fonctionnement de l'unité. Les AICs s'appuient notamment sur un tableau des lits numérique pour leur gestion de l'unité (Figure 3.1).

Les infirmières : Elles sont affectées directement à un ou deux patients dont elles assurent le suivi médical et le lien avec la famille. Les infirmières travaillent depuis les alcôves en collaboration avec les autres membres du personnel participants aux soins du patient.

Les inhalothérapeutes : Ils assurent le suivi et l'évaluation du système cardio-vasculaire des patients. Ils n'appartiennent pas à l'unité des SIP, mais travaillent dans tout l'hôpital. Ils sont cependant affectés à l'unité pour l'ensemble du quart et y sont donc toujours présents.

Les préposés aux bénéficiaires : Ils effectuent les soins de base aux patients et assistent les infirmières pour des tâches simples : le transport de matériel, des dossiers, des médicaments, la réalisation des prélèvements, les déplacements de patients, etc.

Les agents de la salubrité : Selon des directives des AICs, ils assurent le nettoyage des chambres et de l'ensemble de l'unité. L'entretien réalisé par les agents de la salubrité dans les chambres dépend des caractéristiques de ces dernières et plus particulièrement du type d'isolement appliqué. La durée moyenne de nettoyage est d'une cinquantaine de minutes pour une chambre standard sans isolement. Pour les différents types d'isolement, la durée peut varier :

- Isolement préventif : durée équivalente
- Isolement de type aérien : au temps de nettoyage de base s'ajoute une durée d'une heure après la sortie du patient pendant laquelle la chambre n'est pas accessible
- Isolement de type gouttelettes / gouttelettes contact : en plus du nettoyage standard, les murs doivent également être nettoyés, ce qui augmente le temps total pour l'entretien complet de la chambre.
- Isolement de type contact / contact+ : pour ce type d'isolement, les murs doivent être nettoyés et une double désinfection doit être réalisée. La chambre ne sera alors pas accessible avant une heure après la fin de l'entretien.

Pour chaque type de nettoyage, la durée peut également sensiblement varier selon le matériel et le mobilier encore présents dans la chambre.

Ces informations ont été recueillies lors de discussions informelles avec le responsable des agents de la salubrité affecté aux SIP. Pour des informations et recommandations plus précises, nous pouvons nous référer à l’Abrégé de prévention des infections de la Fédération interprofessionnelle de la santé du Québec (FIQ) [38].

Autres acteurs dans l’unité: D’autres professionnels interviennent également dans l’unité comme des physiothérapeutes, qui gèrent la rééducation des patients, des spécialistes externes, qui assurent des consultations pour les patients dans l’unité, les parents, etc. Cependant, leurs tâches ne sont pas en lien direct avec les transferts de lits ou les processus d’affectation, ils ne seront donc pas évoqués dans la suite du texte.

Les professionnels de santé de l’unité ont accès à des outils de haute technologie pour les soutenir dans la surveillance des patients, la réalisation des soins et la gestion de l’unité [37]. Parmi ces derniers, nous retrouvons un tableau de visualisation et de gestion des lits, outil central pour la gestion de l’unité, qui sert notamment de support aux AICs afin de réaliser l’affectation des patients aux chambres et l’affectation des infirmières aux patients⁶. Les nombreuses informations présentes sur le tableau permettent, en effet, d’avoir une vue d’ensemble sur l’unité : plan de l’unité avec représentation des alcôves, nombre de patients admis, patients en attente, nombre d’infirmières en service, affectation des patients et des infirmières, équipe en place, départs prévus, caractéristiques des patients, etc. [36] (voir Figure 3.1).

⁶ Ce tableau est également utilisé par le reste des professionnels de l’unité selon un usage propre à leurs tâches et fonctions [36]

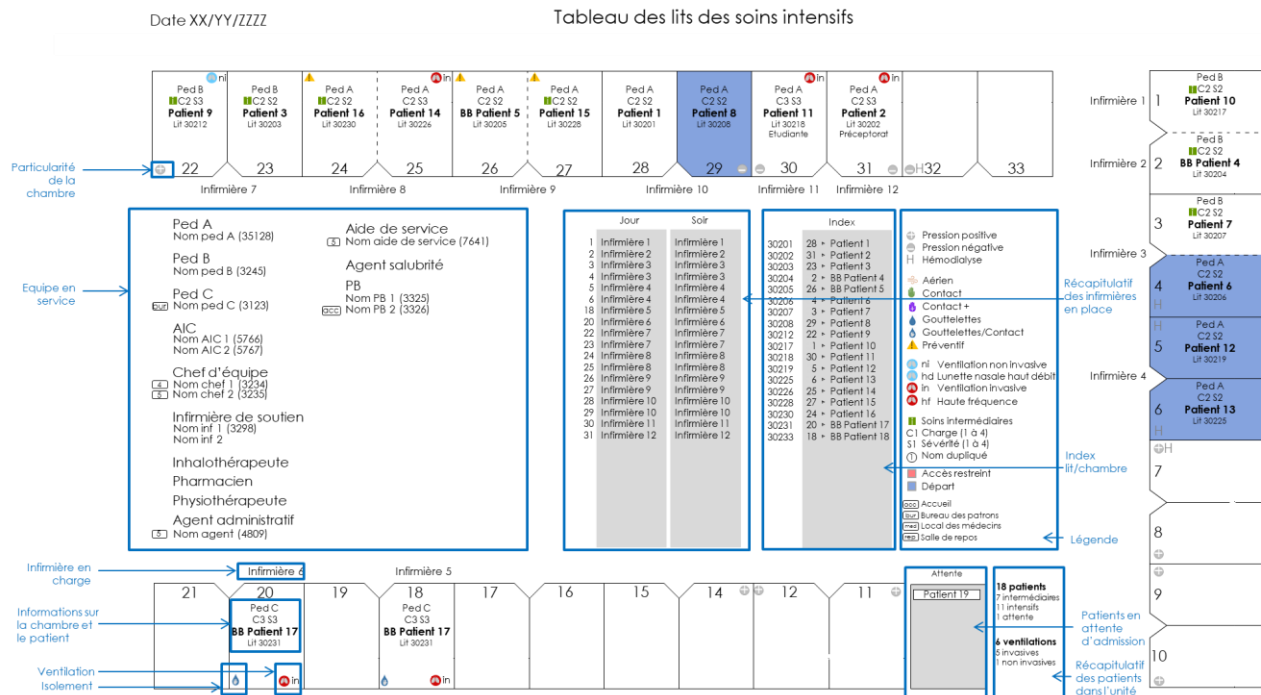


Figure 3.1 Représentation anonyme du tableau de visualisation et de gestion des lits des SIP du CHU Sainte-Justine [36]

En utilisant le tableau et leurs connaissances de l'unité, les AICs vont donc pouvoir planifier la gestion des ressources (infirmières et lits) pour le prochain quart de travail. Leur objectif est d'attribuer une chambre et une infirmière à chaque patient en équilibrant au mieux la charge entre les infirmières et en évitant les transferts de lits.

Pour cela, à la fin du quart et avant le début du quart précédent, l'AIC en charge et celle qui sera en service au quart suivant se réunissent à l'accueil de l'unité devant le tableau de visualisation et de gestion des lits pour faire un point sur l'état de l'unité. A partir des données présentes sur l'outil, elles vont pouvoir déterminer dans quelle chambre devra être positionné chaque patient, quelle infirmière devra lui être affectée et si des transferts de lits intra-unité seront nécessaires pour réaliser ces changements. Les AICs échangent alors pour prendre les meilleures décisions. Elles profitent également de cette réunion entre les deux quarts pour faire un point sur l'ensemble des patients de l'unité.

Ainsi, grâce à nos observations, nos discussions avec les AICs et notre compréhension de l'unité, nous avons pu identifier plusieurs critères pris en compte pour l'affectation des patients aux chambres, des patients aux infirmières et les situations pouvant conduire à des transferts de lit.

Tout d'abord, pour l'affectation des patients aux chambres, il faut s'intéresser :

- Aux patients en attente d'admission
- Aux patients qui vont sortir
- Aux chambres disponibles ou qui vont l'être prochainement (les chambres ne peuvent accueillir qu'un seul patient)
- Aux patients déjà présents dans l'unité et à leur disposition actuelle dans les chambres. En effet, on évitera si possible lors de l'affectation d'un patient à une chambre de le placer de telle manière à ce qu'il soit isolé dans l'unité ou que l'infirmière qui lui sera affectée le soit. On dira qu'un patient ou une infirmière est isolé, s'il n'y a aucun autre patient ou aucune autre infirmière dans la même alcôve ou les alcôves voisines directement à droite et à gauche. Cette spécificité permet notamment aux infirmières de se remplacer provisoirement lors de leur pause par exemple.
- Aux caractéristiques des chambres dont ont besoin les patients (hémodialyse et chambre à pression positive ou négative)
- A l'isolement nécessaire
- Au jumelage des patients. On dit que deux patients sont jumelés s'ils sont affectés à la même infirmière et qu'ils sont placés dans des chambres formant une même alcôve.
- Aux transferts de lits réalisables. Un transfert de lit est considéré comme réalisable s'il permet de respecter les conditions précédentes, si le patient peut être déplacé et si l'infirmière à laquelle il sera affecté par la suite s'occupe de moins de deux patients.

Nous retrouvons certaines contraintes utilisées dans d'autres modèles (voir Tableau 2.1) comme l'isolement et l'équipement médical particulier. Cependant, comme toutes nos chambres sont individuelles et que nous travaillons sur une seule unité, nous n'avons pas de problématique d'âge, de mixité, de particularités de l'unité ou de préférences du patient.

Pour l'affectation des infirmières aux patients, les AICs considèrent :

- Le nombre de patients déjà affectés à l'infirmière pour toujours respecter le ratio infirmier
- La charge de travail des patients à affecter

- La charge de travail actuelle des infirmières. Deux patients considérés comme lourds ne seront pas affectés à la même infirmière et un patient léger sera le plus souvent jumelé avec un autre patient.
- Le nombre d'infirmières disponibles
- Les transferts de lits possibles et donc les possibilités de jumelage.

Enfin, pour les transferts de lits, nous avons pu identifier cinq scénarios pouvant conduire les AICs à décider d'un transfert. Certains d'entre eux peuvent se recouper et avoir lieu simultanément. Chaque situation peut conduire éventuellement à un transfert si les conditions sont réunies, mais sans certitude.

Moins d'infirmières pour le quart suivant : lorsque le nombre d'infirmières est moins important d'un quart sur l'autre, l'affectation des patients doit être modifiée. Pour expliquer cette situation, prenons l'exemple où il y a une seule infirmière de différence. Dans ce cas, deux patients avec un ratio infirmier d'un pour un devront être jumelés. Si les deux patients à jumeler ne sont pas dans des chambres voisines formant une alcôve, alors il faudra réaliser un transfert.

Admission prévue d'un ou plusieurs patients : quand un patient est admis dans l'unité, il sera soit jumelé avec un autre patient, soit affecté à une infirmière pour lui seul selon sa charge de travail. Dans le cas où le patient est lourd, il faut donc disposer d'une infirmière disponible pour ce patient uniquement. Ainsi, il peut être nécessaire de jumeler deux autres patients, ayant précédemment une infirmière pour eux seuls, permettant de libérer une infirmière. S'ils ne se situent pas tous les deux dans la même alcôve, un transfert doit avoir lieu.

Sortie d'une ou plusieurs patients : lorsqu'un patient quitte l'unité, l'infirmière qui lui est affectée peut se retrouver avec un ou zéro patient. Dans le premier cas, afin de mieux rééquilibrer la charge de travail entre les infirmières, un second patient peut alors être placé sous la surveillance de cette infirmière afin de diminuer la charge d'une autre infirmière. Cela induisant un transfert.

Dégradation ou amélioration de l'état d'un ou plusieurs patients : si l'état de santé d'un patient s'aggrave ou s'améliore, la charge de travail qu'il représente pour une infirmière est modifiée. Par conséquent, le ratio infirmier pour assurer une surveillance adéquate du patient peut changer pour s'adapter à la nouvelle situation. Par exemple, un patient A jumelé avec un autre patient B dont l'état de santé se dégrade devra avoir par la suite une infirmière pour lui seul. Deux scénarios sont

alors possibles. Dans le premier scénario, le patient B est transféré vers une autre chambre où il sera jumelé avec un patient C. Il faut donc organiser un transfert de lit. Dans le second scénario, deux autres patients D et E sont jumelés, s'ils ne sont pas dans la même alcôve, un transfert devra être prévu, libérant une infirmière pour le patient B.

Besoin d'un patient lié à la chambre qui change : les chambres de l'unité ne présentent pas toutes les mêmes caractéristiques techniques. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 3.1, certaines chambres peuvent être paramétrées en pression négative ou positive et/ou disposent d'un équipement d'hémodialyse. Ainsi, si un patient dans une chambre classique a besoin de l'un de ces équipements, il devra être transféré. Nous retrouvons également ce cas dans l'analyse de Hendrich et Nelson, 2005 [21].

Pour simplifier et récapituler comment se déroule l'affectation des patients aux chambres et l'affectation des patients aux infirmières décidées par les AICs, nous les avons représentés par deux schémas de décisions Figure 3.2 et Figure 3.3. Nous avons d'une part un schéma qui représente les changements qui devront être effectués au début du quart et d'autre part un schéma qui représente les changements à faire pendant le quart. Dans les figures ci-dessous, lorsque nous parlerons de jumelage, cela induit implicitement que les patients seront placés dans la même alcôve. Si les patients sont chacun affectés à une infirmière, le jumelage a pour conséquence de libérer une des deux infirmières pour permettre de l'affecter à d'autres patients.

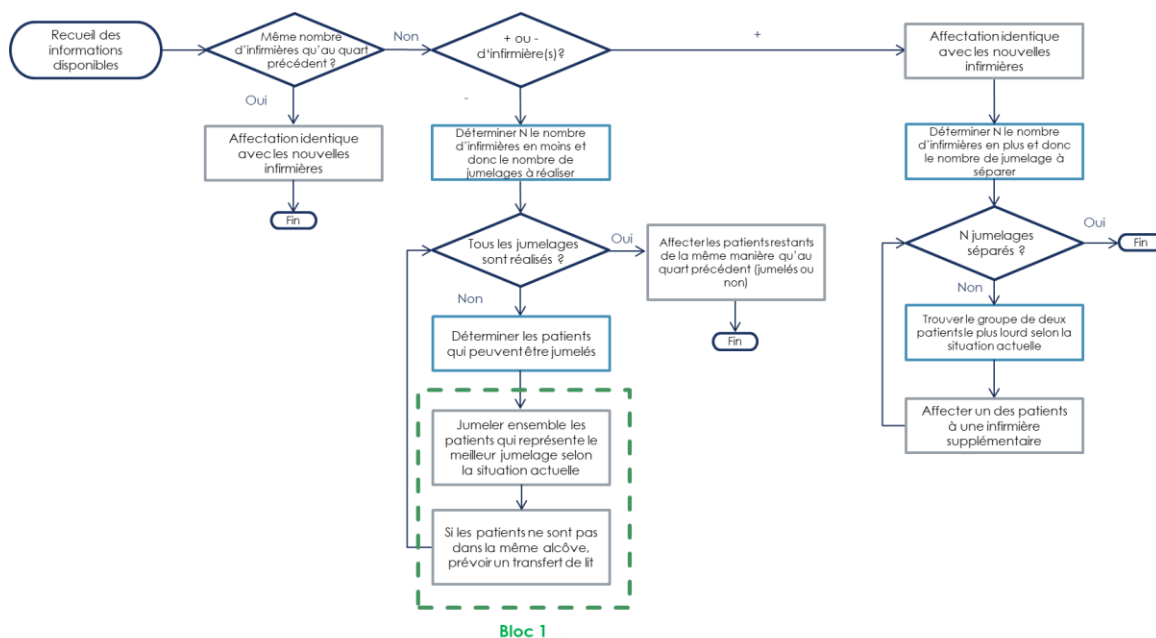


Figure 3.2 Schématisation de la méthode d'affectation aux SIP - au début du quart

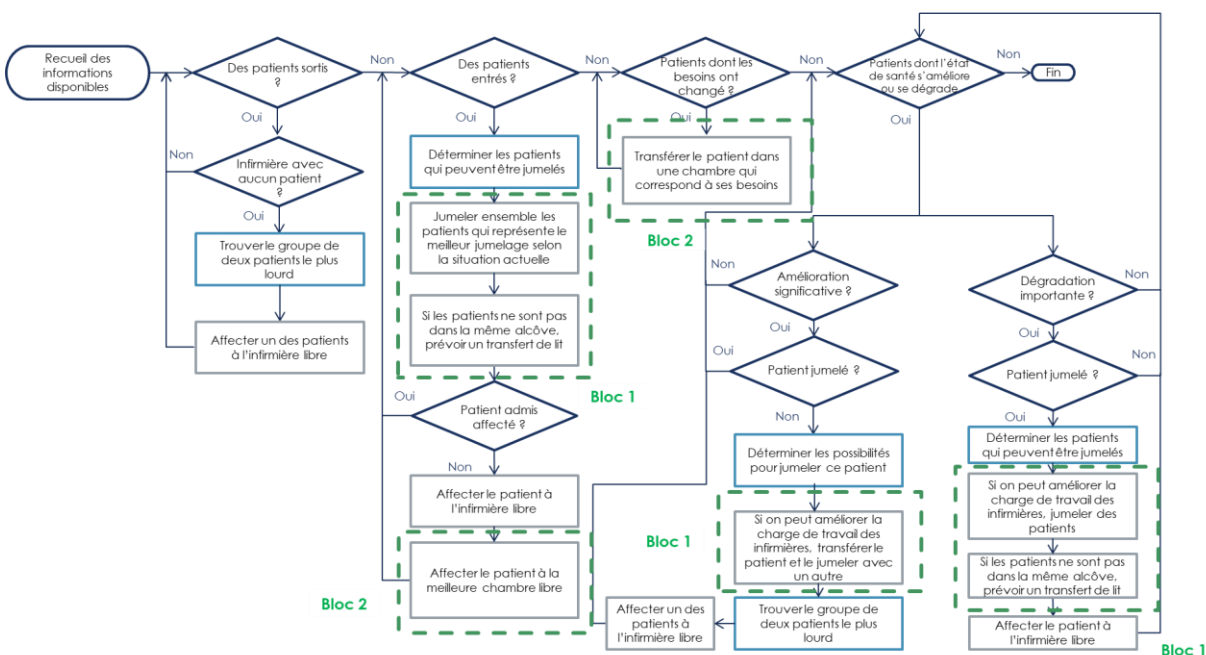


Figure 3.3 Schématisation de la méthode d'affectation aux SIP - pendant le quart

En nous basant sur ces deux schémas, nous avons pu écrire une heuristique permettant de reproduire et d'automatiser le processus d'affectation des AICs aux SIP. Nous expliquerons dans la partie 5.3, comment nous avons définis « le meilleur jumelage », « une amélioration

significative » et « une dégradation importante » de l'état de santé d'un patient et « la meilleure chambre libre ».

Après avoir assimilé les processus d'affectation, nous nous sommes attachés à décrire les transferts de lits et plus particulièrement le processus associé aux transferts. Pour cela nous nous sommes basés sur nos observations des transferts aux SIP afin de déterminer les acteurs impliqués et les différentes étapes qui les composent, mais aussi sur le travail Hendrich et Nelson, 2005 [33], présenté Figure 2.6. Nous avons caractérisé le processus de transfert de lit en trois sous-processus : pré-transfert, transfert et post-transfert, chacun constitué de plusieurs étapes.

Le **pré-transfert** se compose de deux étapes principales :

- L'identification de la nécessité d'un transfert par les AICs
- La préparation de la chambre d'arrivée
 - o Si la chambre est occupée par un autre patient (sortie de l'établissement, transfert dans une autre chambre, transfert dans une autre unité avec une demande de lit), s'assurer de déplacer ce patient avant de passer à l'étape suivante
 - o Nettoyage de la chambre si la chambre n'est pas propre.

Le **transfert** est découpé en 3 étapes :

- La préparation au transfert du patient par l'infirmière et les préposés aux bénéficiaires :
 - o Vérification que le patient, l'ensemble des moniteurs, des outils de ventilation et le lit peuvent être déplacés sans danger
 - o Mise en place des précautions d'hygiène particulières si nécessaire
 - o Autres tâches à valider avant le transfert
- Le déplacement du patient avec son lit et de l'ensemble de l'équipement vers sa nouvelle chambre par l'infirmière et les préposés aux bénéficiaires
- L'installation du patient dans sa nouvelle chambre : remise en place du lit, des moniteurs, etc. comme dans la chambre de départ.

Le **post-transfert** se compose quant à lui de 5 étapes :

- La mise à jour du tableau des lits par l'AIC ou l'agent administratif (positionnement du patient dans sa nouvelle chambre)
- Le contrôle des signes vitaux par l'infirmière affectée au patient
- La vérification par un inhalothérapeute que la ventilation n'a pas été altérée par le transfert
- La demande de nettoyage de la chambre de départ par l'AIC
- Le nettoyage de la chambre par les agents de la salubrité.

Le transfert complet commence donc dès que le besoin est identifié jusqu'à ce que la chambre soit nettoyée. Certaines étapes se suivent tandis que d'autres peuvent avoir lieu simultanément au sein d'un même sous-processus. La description du processus de transfert de lit met en avant l'impact des transferts sur de nombreux acteurs de l'unité et pas uniquement sur les infirmières dont : les AICs, les préposés aux bénéficiaires, les inhalothérapeutes et les agents de la salubrité.

3.2 Collecte et analyse des données du CHU Sainte-Justine

Dans cette partie, nous allons ainsi détailler le processus de collecte des données nécessaires à la description des transferts de lits dans l'unité. Puis nous terminerons par l'analyse quantitative des données recueillies.

Initialement, notre première idée était de collecter les données qu'utilisaient directement les AICs pour réaliser leur affectation, à savoir l'ensemble des informations disponibles dans le tableau des lits. Les données du tableau auraient été sélectionnées deux fois par jour⁷ permettant de voir les transferts de lits réalisés, mais aussi de comprendre pourquoi ils avaient eu lieu en observant les affectations choisies selon les caractéristiques des patients et les ressources disponibles. Ainsi, nous avons restreint notre période d'étude à un an, entre le 1^{er} novembre 2018 et le 31 octobre 2019. Le tableau ayant été déployé en octobre 2017, nous avons laissé une marge de temps suffisante avant notre date initiale correspondant à la prise en main de l'outil par l'unité. Puis, nous avons choisi de

⁷ Le tableau des lits n'étant pas toujours rempli au quart de nuit, il était donc préférable de sélectionner les données au début du quart de jour et pendant le quart de soir avec un intervalle de douze heures (8h puis 20h par exemple) [36]

concentrer notre travail sur un an. Cependant, nous n'avons pas pu récolter ces données, car elles n'étaient pas disponibles au moment de notre étude. Nous avons donc cherché une alternative.

Plutôt que d'avoir directement une image de l'unité avec les patients dans les chambres, leurs caractéristiques et les infirmières qui leur sont affectées, nous avons décidé de reconstruire manuellement un tableau reproduisant la position des patients dans leur chambre. Puis, nous avons récupéré des informations sur la charge de travail et la sévérité associées au patient pour caractériser les patients transférés. Afin de reconstruire notre table des patients dans les chambres, nous avons donc besoin d'obtenir deux bases de données :

- La première avec les enregistrements de la position d'un patient dans une chambre avec le numéro de la chambre, le numéro d'identification unique du patient, la date et l'heure d'enregistrement
- La seconde qui retrace la liste des admissions et des sorties avec le numéro d'identification unique du patient, la date et l'heure de l'admission ou de la sortie.

La première base nous permet de placer les patients dans les chambres et de constater s'il y a eu un transfert tandis que la seconde nous permet de contrôler que le changement de chambre a eu lieu pendant le même séjour du patient dans l'unité. Ainsi, la responsable de la collecte de nos données a pu nous extraire les informations souhaitées et nous les présenter en deux bases en utilisant ICCA (IntelliSpace Critical Care and Anesthesia), l'outil de gestion du dossier patient informatisé utilisé aux SIP. L'ensemble des données que nous avons reçues sont anonymes et ont été protégées par un mot de passe avant de nous être transmises. Nous avons également obtenu l'accord du comité d'éthique du CHU Sainte-Justine.

Une fois les bases de données récupérées, nous avons dû dans un premier temps effectuer un traitement de ces bases puis dans un second temps décider à quelle fréquence nous construirons notre représentation de l'unité et des patients dans les chambres. Le travail de nettoyage s'est concentré sur la première base indiquant la position des patients dans les chambres. Nous avons dû supprimer les enregistrements erronés et/ou redondants, à savoir : un patient toujours enregistré dans une chambre alors qu'il est sorti, un patient enregistré dans deux chambres simultanément, deux patients inscrits dans la même chambre au même moment. De plus, la première comportait de nombreux enregistrements de patient sans chambre. En croisant, les deux bases de données en utilisant la date et l'heure et le numéro d'identification du patient comme critères de réunion, nous

avons pu exclure ces enregistrements vides correspondant à 98% à des entrées et des sorties de l'unité. Nous obtenons donc une base dont chaque ligne représente le placement d'un patient dans une chambre avec la date et l'heure (et donc le jour et le quart), le numéro du patient, le numéro de la chambre et s'il s'agit d'une entrée ou d'une sortie.

Une fois notre base finale obtenue, nous avons décidé de retracer la position des patients une fois par quart. Une journée se découpant en 3 quarts avec en premier le quart de nuit qui commence à minuit et se termine à 8h, le quart de jour qui débute à 8h et se termine à 16h et enfin le quart de soir qui s'étend 16h à minuit. Pour chaque jour, nous enregistrons donc 3 fois la position des patients dans les chambres (voir Tableau A.1). Pour cela, nous avons dû émettre les hypothèses suivantes :

- Pour chaque enregistrement, nous plaçons le patient dans la chambre correspondante. Nous suivrons les enregistrements par ordre chronologique.
- Pour un même quart, nous inscrirons le patient dans la chambre dont nous avons l'enregistrement le plus tardif. Ainsi, nous ne pourrons pas détecter si un patient a été dans deux chambres différentes pendant un même quart. Cependant, c'est un cas très rare d'après nos observations et donc négligeable.
- Si nous enregistrons une entrée, nous plaçons le patient dans la chambre correspondante.
- Si nous enregistrons une sortie de patient, la chambre qu'il occupe est vidée.
- Si un patient est enregistré dans une chambre et que celle-ci est déjà occupée par un autre patient, nous considérons que le patient qui était initialement dans la chambre l'a quittée et nous y plaçons le nouveau patient. Nous ne pouvons donc pas savoir si deux patients ont occupé la même chambre pendant un quart.
- Si aucune sortie n'est enregistrée pour un patient dans une chambre et qu'aucun autre patient n'a pris sa place, nous considérons que le patient est toujours dans la chambre.

A partir de la base de données précédente, nous avons pu extraire de nombreuses informations sur le nombre de patients et de transferts dans l'unité. Ainsi, entre le 1^{er} novembre 2018 et le 31 octobre 2019, nous avons enregistré 631 transferts avec une moyenne de 1,7 transfert par jour et un maximum de 6 transferts en un seul jour. En moyenne, un patient est transféré 0,6 fois sur une

année⁸. Nous retrouvons un chiffre proche de celui présenté par Blay [32] avec 0,5 transfert de lit par épisode de soin. Le patient ayant été transféré le plus de fois a été transféré 13 fois en 8 séjours différents.

Dans un deuxième temps, afin de mieux décrire les transferts, nous avons comptabilisé le nombre de transferts selon le type de quart et le mois. Les transferts ont majoritairement lieu pendant le quart de soir et le quart de jour (voir Tableau 3.1). Cela traduit bien la réalité du terrain. En effet, le nombre d'infirmières disponibles est généralement plus faible la nuit par rapport au soir et au jour, car l'activité de l'unité est plus faible. On ne prévoit aucune admission ou sortie la nuit par exemple⁹ et il n'y a pas de consultation programmée. De plus, comme les patients dorment, les transferts sont évités durant la nuit pour ne pas les réveiller. Nous remarquons le même phénomène dans les observations de Blay [32] (voir 2.3).

Tableau 3.1 Nombre de transferts selon le type de quart entre le 1^{er} nov. 2018 et le 31 oct.2019

Quart	Nb transferts
J	198
S	382
N	51
Total	631

Concernant le nombre de transferts mensuel, nous observons un nombre moins important de transfert en avril-mai par rapport au nombre de patients.

Tableau 3.2 Nombre de transferts mensuel

Mois	Nombre de patients	Nombre transferts	% de transferts en fonction du nombre de patients
Novembre 18	92	66	72%
Décembre 18	119	59	50%
Janvier 19	109	68	62%
Février 19	101	66	65%
Mars 19	110	55	50%

⁸ Chiffre a nuancé car un patient peut avoir plusieurs séjours aux SIP en une année.

⁹ Il peut bien évidemment avoir des admissions urgentes.

Tableau 3.2 Nombre de transferts mensuel (suite et fin)

Mois	Nombre de patients	Nombre transferts	% de transferts en fonction du nombre de patients
Avril 19	96	36	38%
Mai 19	110	41	37%
Juin 19	110	60	55%
Juillet 19	86	45	52%
Août 19	96	38	40%
Septembre 19	113	45	40%
Octobre 19	115	52	45%
Total	981	631	64%

Nous observons une corrélation linéaire faible entre le nombre de transferts et le nombre de patients différents présents dans l'unité (Figure 3.4). Le coefficient de Pearson¹⁰ est de 0,217 pour toute l'année et de 0,423 si nous excluons le mois de novembre. Cela s'explique, car les données du mois de novembre sont moins fiables en raison de notre méthode de calcul. En effet, comme nous ne connaissons pas les patients présents dans l'unité au 31 octobre 2018, il y a une certaine inertie dans la conception de la table des patients dans les chambres. Ce qui explique un pourcentage de transferts élevé par rapport au nombre de patients.

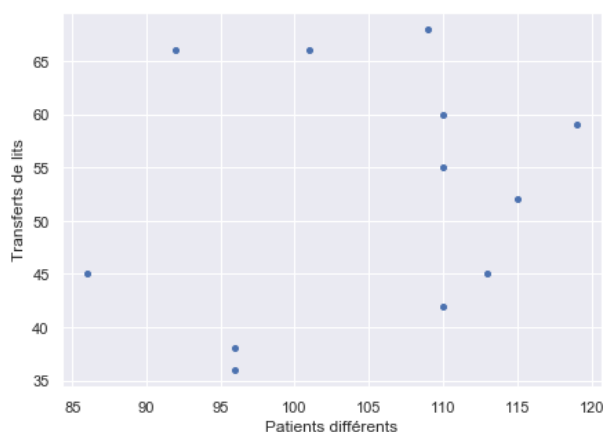


Figure 3.4 Représentation du nombre de transferts de lits en fonction du nombre de patients différents dans l'unité pour chaque mois de notre intervalle d'étude

¹⁰ Coefficient de corrélation linéaire

La Figure 3.5 nous permet quant à elle de constater que les transferts de lits et le nombre de patients ne suivent aucune variation saisonnière importante en dehors des mois de juillet et août avec une légère diminution, avant une nouvelle augmentation en septembre.

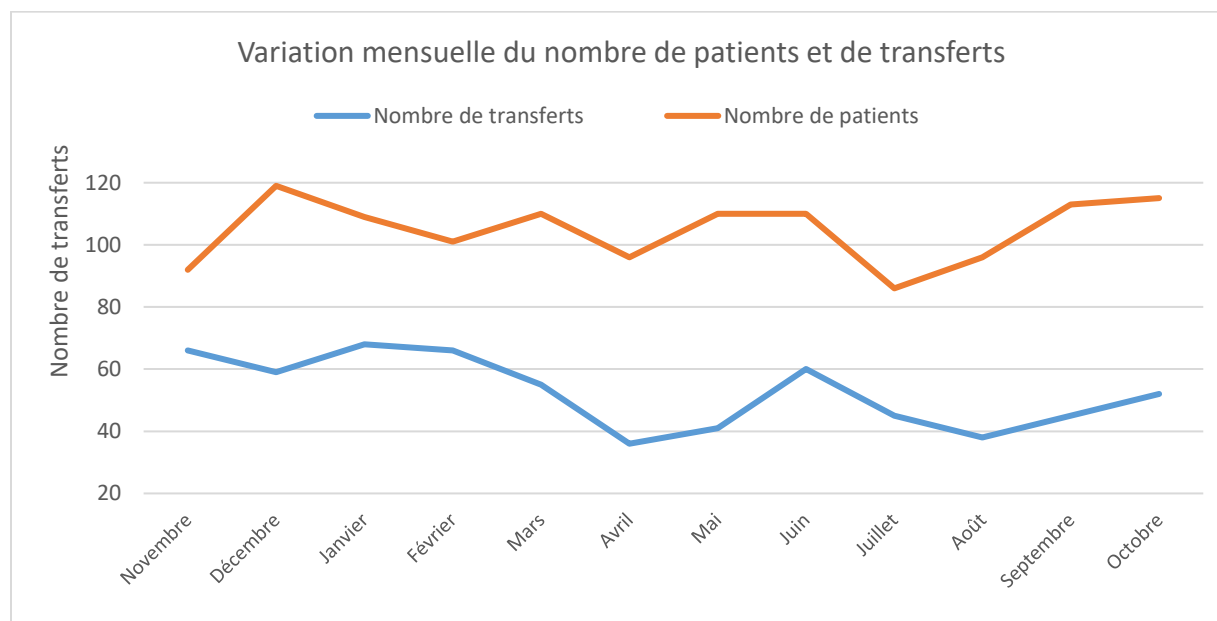


Figure 3.5 Variation mensuelle du nombre de transferts et de patients

En tenant compte de nos hypothèses précédentes, il est important de noter que nous avons pu sous-estimer le nombre de transferts en considérant que certains patients sont sortis alors qu'ils sont encore dans l'unité. L'enregistrement du patient dans une nouvelle chambre n'est alors pas considéré comme un transfert, mais comme une admission. Et inversement, si certains patients sont sortis et que cela n'a pas été enregistré, nous surestimons le nombre de transferts. Néanmoins, les nombres déterminés semblent cohérents avec les impressions des gestionnaires de l'unité notamment en termes d'ordre de grandeur et de variation.

Les transferts intra-unité sont donc très nombreux aux SIP d'autant plus qu'il s'y ajoute les transferts inter-unités et la gestion des admissions et des sorties qui nécessitent l'utilisation des mêmes ressources. Les gestionnaires reconnaissent ainsi que les transferts de lits représentent un poids certain sur l'unité qu'il serait possible d'éviter.

Notre table des patients dans les chambres nous permet également de déterminer un nombre d'infirmières possibles dans l'unité. Le maximum d'infirmières correspond au nombre de patients selon un ratio d'un pour un et le minimum est calculé en mettant une infirmière par alcôve. Enfin,

cette table nous permet de calculer la durée moyenne de séjour (DMS) des patients dans l'unité. Nous obtenons une DMS de 4,6 jours, ce qui correspond bien aux ordres de grandeur que nous ont fournis les gestionnaires de l'unité et confirme d'une autre manière que les hypothèses choisies précédemment sont pertinentes.

En plus du nombre de transferts, les caractéristiques des patients transférés sont utiles afin de mieux décrire les transferts de lits aux soins intensifs pédiatriques. Nous allons donc comparer certains indicateurs utilisés dans l'unité pour les patients transférés et l'ensemble des patients de l'unité. Pour cela, nous avons notamment étudié le Quanti²s et certains des critères qui le compose (voir 2.2.1), le PELOD-2¹¹ et la DMS. Les critères que nous avons choisis sont liés aux acteurs des transferts que nous avons identifiés : l'isolement impacte les agents de la salubrité, l'oxygénation les inhalothérapeutes, les scores d'âge, d'imprévisibilité et de mouvement vont quant à eux jouer sur les tâches des infirmières et des préposés aux bénéficiaires.

Tableau 3.3 Comparaison des scores Quanti²s moyens entre les patients transférés et l'ensemble des patients de l'unité

	Quanti ² s	Score oxygénation	Score mouvement du patient	Score isolement	Score âge	Score imprévisibilité
Patients transférés	44,593	3,463	0,774	0,832	2,384	2,222
Tous les patients	45,755	5,085	0,328	0,757	2,578	2,337

Tableau 3.4 Comparaison des scores PELOD-2 entre les patients transférés et l'ensemble des patients de l'unité

	PELOD-2	Probabilité de décès
Patients transférés	2,964	2,199%
Tous les patients	3,274	2,934%

¹¹ Le PELOD-2 est l'indice de sévérité patient utilisé aux SIP. Il varie entre 0 et 25 et prend en compte différents paramètres médicaux comme la réaction pupillaire, la pression artérielle moyenne etc.

Tableau 3.5 Comparaison de la DMS entre les patients transférés et l'ensemble des patients de l'unité

	DMS
Patients transférés	4,15
Tous les patients	4,61

Nous remarquons que de nombreux indicateurs et scores sont plus faibles pour les patients transférés. La charge de travail, la sévérité et la DMS des patients transférés sont ainsi légèrement plus faibles même si ce n'est pas significatif. Le score d'oxygénation, qui représente le type de ventilation ou d'oxygénation du patient, est quant à lui bien moins important pour les patients transférés. Ainsi, lorsque les AICs déterminent un transfert, elles vont avoir tendance à transférer les patients dont le type de ventilation est moins complexe et moins lourd, ce qui simplifie le travail des inhalothérapeutes. Cependant, le score de mouvement, qui traduit la difficulté à déplacer un patient, est un peu plus élevé pour les patients transférés, de même que le score d'isolement. Ce ne sont donc pas forcément des critères pris en compte par les AICs alors qu'ils impactent directement le travail des préposés aux bénéficiaires et des agents de la salubrité.

3.3 Discussion autour des possibilités d'améliorations identifiées

Dans les parties précédentes, nous avons pu comprendre et décrire les processus d'affectation et de transferts de lits aux soins intensifs CHU Sainte-Justine. De nos observations, nous avons notamment retenu que les transferts de lits nombreux étaient un problème pour l'unité. Dans cette partie, nous partagerons certaines de nos idées pouvant aider les gestionnaires à diminuer la charge des transferts. Pour cela, deux stratégies sont envisageables : d'une part, diminuer le nombre de transferts et d'autre part réaliser des transferts moins lourds et nécessitant moins de ressources.

Ainsi, notre premier constat concernant les transferts de lits est qu'ils ont avant tout pour but d'aider les infirmières à réduire leur charge de travail. Cependant, les AICs ne vont pas alors forcément considérer la charge de travail supplémentaire qui peut s'ajouter sur les autres acteurs de l'unité. Par exemple, en déplaçant un patient avec un isolement de type *gouttelettes*, la préparation du patient sera plus complexe pour les préposés et les infirmières en raison des précautions d'hygiène, mais aussi pour les agents de la salubrité, car le ménage sera plus long. De plus, la chambre sera indisponible pendant une durée bien plus longue qu'en l'absence de mesure d'isolement ce qui

peut également être problématique pour l'unité lorsque le taux d'occupation est important. C'est pourquoi il serait utile de quantifier le coût d'un transfert et d'en faire une mesure variable selon les caractéristiques du patient (isolement, oxygénation etc.) et qui ne dépende pas uniquement de la possibilité ou non de le transférer. Celle-ci permettrait aux AICs de déterminer des transferts moins lourds et donc de diminuer leurs impacts globaux sur l'unité.

Notre deuxième constat concerne le nombre de transferts évitables. En effet, lorsque les AICs prennent leurs décisions d'affectation à la fin du quart, elles prennent en compte un horizon court à savoir la situation actuelle et le quart qui va commencer. En anticipant sur un horizon plus long, il devrait être possible d'éviter des transferts. Par exemple, si des patients lourds vont être admis dans les prochains quarts, il est plus judicieux de placer les patients légers qui viennent d'entrer dans des chambres voisines d'autres patients dont la charge est faible. S'il faut les jumeler alors il n'y aura pas besoin de transfert. De la même manière, si un patient va bientôt sortir, il faudrait éviter de le jumeler juste pour un quart, car par la suite son voisin pourrait devoir être transféré à son tour. Connaître les DMS moyennes selon les caractéristiques d'un patient pourrait donc également être un atout pour les AICs pour prévoir les sorties.

Cependant, ces propositions peuvent jouer sur l'équilibrage de la charge de travail en le dégradant légèrement. Il faut donc pouvoir compenser cette possibilité en ajustant plus précisément la répartition des infirmières et des patients. Aux SIP, les AICs utilisent leur connaissance des patients et les catégories de Quanti²s de chaque patient pour répartir la charge manuellement. Néanmoins, cette méthode n'est pas forcément la plus précise, car d'une part elle ne prend en compte que l'état du patient à l'instant t et d'autre part laisse place au jugement humain qui n'est pas toujours le plus précis. Ainsi, pouvoir visualiser les valeurs exactes de la charge de travail et une évolution probable de celles-ci pourrait permettre aux AICs d'affiner leur méthode d'affectation. L'utilisation d'un outil numérique pour les aider serait également une option envisageable, car il se révèle souvent plus efficace que la pratique courante.

CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE

Dans cette partie, nous présenterons notre méthodologie pour résoudre le problème d'affectation des patients aux chambres et aux infirmières dans l'unité des soins intensifs pédiatriques du CHU Sainte-Justine. Pour cela, nous commencerons par formaliser le problème à résoudre avec les hypothèses utilisées et les contraintes à respecter puis nous présenterons notre modèle en programmation linéaire en nombres entiers et enfin nous décrirons l'heuristique utilisée.

4.1 Hypothèses et caractéristiques du problème à résoudre

Les modèles que nous devons proposer doivent effectuer l'affectation des patients aux chambres et des infirmières aux patients. Cependant ils ne répondent au problème initial que selon certaines hypothèses présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4.1 Hypothèses de validité du problème d'affectation

Hypothèses de validité
<p>1. Il existe une affectation possible à partir des données initiales sur l'intervalle de temps:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tous les patients peuvent être admis dans l'unité : il y a des chambres libres et l'unité n'est pas en débordement - Si un patient est admis, alors il existe une chambre équipée de manière à répondre à ses besoins - Il y a suffisamment d'infirmières pour pouvoir affecter tous les patients.
<p>2. Il n'y a pas de sureffectif (il y a moins d'infirmières que de patients dans l'unité).</p>
<p>3. Les infirmières sont toutes équivalentes, le choix exact de quelle infirmière sera affectée à quel(s) patient(s) est laissé à la discrétion des AICs qui ont une connaissance de l'expérience et des compétences de chacune.</p>
<p>4. Il ne sera pas affecté de chambre au patient durant le quart auquel est enregistrée sa sortie. La gestion des patients dans une même chambre durant un quart est gérée par les AICs (il faut faire sortir le patient avant d'en mettre un autre dans la chambre).</p>

Tableau 4.1 Hypothèse de validité du problème d'affectation (suite et fin)

Hypothèses de validité
5. Les charges de travail des patients sont connues en amont de leur admission. Nous supposons que nous disposons de suffisamment d'informations sur le cas du patient pour émettre une valeur de Quanti's à l'admission qui traduit bien son état de santé.
6. Nous sommes dans une situation de fonctionnement « classique » de l'unité. Par exemple, l'existence d'une pandémie comme la COVID19 impose des règles supplémentaires qui ne sont pas prises en compte par le modèles et qui nécessiteraient des ajustements supplémentaires.

Pour que la solution proposée soit réalisable dans l'unité, certaines contraintes doivent être respectées d'après nos observations. Ce sont les contraintes dures.

Tableau 4.2 Contraintes dures du problème d'affectation

Contraintes dures
1. Chaque patient dans l'unité ne sera affecté qu'à une seule chambre.
2. Chaque chambre ne peut accueillir qu'un seul patient (un lit par chambre).
3. Un patient ne peut être affecté qu'à une chambre répondant à ses besoins.
4. Un patient ne peut être affecté qu'à une seule infirmière.
5. Une infirmière ne peut être en charge que d'un ou deux patients.
6. Si une infirmière est affectée à deux patients, alors ils se trouvent dans deux chambres formant la même alcôve.

De plus, nous avons également établi une liste de préférences lorsque les AICs réalisent des affectations. Nous les avons intégrées via des contraintes souples.

Tableau 4.3 Contraintes souples du problème d'affectation

Contraintes souples
7. Nous éviterons d'avoir des patients isolés dans l'unité.
8. Nous éviterons d'avoir des infirmières isolées dans l'unité.
9. Nous éviterons de transférer plusieurs fois le même patient pendant l'intervalle de temps sur lequel sont réalisées les affectations.
10. Les transferts de jour et de soir seront privilégiés aux transferts de nuit.

L'ensemble de ces contraintes correspond à ce que nous avons observé aux SIP. De plus, chacune des méthodes tentera de répondre aux objectifs d'équilibrage de la charge de travail infirmière et de diminution du nombre de transferts. La charge de travail d'une infirmière sera calculée en ajoutant la somme des Quanti²s des patients dont elle est en charge. Le transfert de lit sera défini en considérant la chambre d'arrivée et non la chambre de départ.

4.2 Critères de la fonction objectif

Pour pouvoir mesurer l'efficacité de nos méthodes et les comparer avec ce qui est actuellement réalisé au CHU SJ, nous avons développé une fonction objectif traduisant la validité des résultats obtenus. Nous nous sommes basés sur nos observations, la revue de littérature et notre compréhension de l'unité pour identifier des critères pertinents qui composeront cette fonction.

Soit α_i le poids associé au critère i et β_i la valeur de la normalisation pour le critère i et x_i la valeur du critère i pour notre échantillon de données. Alors la fonction objectif que nous cherchons à construire est de la forme :

$$FO = \sum_i \frac{\alpha_i}{\beta_i} x_i \quad (4.1)$$

La première étape est de déterminer les critères de comparaison i . Pour rappel, les différentes méthodes que nous avons développées ont deux fonctions principales : affecter les patients aux chambres et affecter les infirmières aux patients, en cherchant à atteindre deux objectifs : équilibrer

la charge de travail infirmière et réduire les transferts de lits. Ainsi, nos critères doivent avant tout permettre de mesurer l'efficacité de nos affectations par rapport à ces deux attentes.

Comme nous l'avons vu dans la partie 2.2.1, il existe plusieurs options pour traduire l'équilibrage de la charge de travail des infirmières. Dans notre étude, nous cherchons d'une part à minimiser la charge maximale qui sera supportée par une même infirmière, mais aussi à avoir une charge moyenne similaire pour toutes les infirmières. Ainsi, nous avons identifié trois premiers critères à mesurer pour l'affectation infirmières patients inspirés de notre revue de littérature en 2.2.2 :

- Minimiser la charge de travail maximale sur l'horizon de planification
- Maximiser la charge de travail minimale sur l'horizon de planification
- Minimiser la moyenne sur l'ensemble des quarts des écarts entre la charge maximale et la charge minimale mesurée à chaque quart.

D'après nos observations, pour réduire l'impact des transferts de lits, nous pouvons soit diminuer leur nombre soit diminuer leur charge. Ainsi, deux autres critères que nous chercherons à minimiser sont :

- Le nombre total de transferts de lit
- Le coût moyen des transferts.

De plus, lors des choix d'affectation, certaines situations cherchent à être évitées : patient isolé, infirmière isolée¹², transfert de nuit, patient transféré plusieurs fois sur la même période. Nous avons donc ajouté le nombre de fois où se réalise chaque situation comme critère. Ainsi, nous avons identifié 9 paramètres pour notre fonction objectif. Le calcul des poids et les valeurs de normalisation seront détaillés en 5.2.

4.3 Modèle en programmation linéaire en nombres entiers

Pour résoudre notre problème d'affectation des patients aux infirmières et aux chambres, nous avons tout d'abord proposé un modèle en programmation linéaire en nombres entiers. Dans cette

¹² Lorsqu'une infirmière s'occupe d'un seul patient, avoir un patient isolé ou une infirmière isolée est similaire

partie, nous présenterons les ensembles, les paramètres, la fonction objectif et les contraintes du modèle.

Ensembles

- I = Ensemble des infirmières
- P = Ensemble des patients
- C = Ensemble des chambres
- K = Ensemble des quarts
- K^N = Ensemble des quarts de nuit

Paramètres

- $b_{p,k} = \begin{cases} 1 & \text{si le patient } p \text{ est dans l'unité au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $e_{p,k} = \begin{cases} 1 & \text{si le patient } p \text{ entre dans l'unité au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $w_{p,k}$ = charge de travail du patient p au quart k
- $coût_{p,k}$ = coût de transfert du patient p au quart k
- $x_{p,c}^0 = \begin{cases} 1 & \text{si le patient } p \text{ est dans la chambre } c \text{ avant le début de l'affectation} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $M_{p,c,k} = \begin{cases} 1 & \text{si la chambre } c \text{ peut accueillir le patient } p \text{ au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- l = minimum de patients dont peut s'occuper une infirmière
- L = maximum de patients dont peut s'occuper une infirmière
- $n_{i,k} = \begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \text{ travaille au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- N_k = nombre d'infirmières travaillant au quart k
- A = nombre d'alcôves dans l'unité
- a_c = numéro de l'alcôve de la chambre c
- $vois_{c,c'}^1 = \begin{cases} 1 & \text{si les chambres } c \text{ et } c' \text{ sont considérées comme voisines selon la définition du patient isolé} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $vois_{c,c'}^2 = \begin{cases} 1 & \text{si les chambres } c \text{ et } c' \text{ sont considérées comme voisines selon la définition de l'infirmière isolée} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- α_q = poids de la fonction objectif

Dans le cadre de l'application de ce modèle aux SIP du CHU Sainte-Justine, nous considérons qu'un patient est dans l'unité ($b_{p,k}=1$) s'il était dans l'unité au quart précédent et qu'il n'est pas sorti durant le quart k ou s'il est entré au quart k . La charge de travail w est définie par la valeur du

Quantités du patient. La variable x^0 permet de connaître la position des patients dans les chambres avant de commencer l'affectation. Elle permet d'éviter des transferts entre deux horizons de planification différents. La matrice M est définie en considérant les besoins des patients en termes d'équipements spécifiques dans les chambres (pression positive ou négative et hémodialyse) et les caractéristiques de la chambre. C'est une matrice de correspondance chambre-patient. Les paramètres l , L et A prennent respectivement les valeurs 1, 2 et 16. Les alcôves ont été numérotées dans l'ordre ainsi $a_1=1$, $a_2=1$, $a_3=2$, $a_4=2$ etc. Un patient est dit isolé s'il n'y a aucun autre patient dans la même alcôve et dans les alcôves directement à gauche et à droite (sauf pour les alcôves en bout de couloir). Une infirmière est dite isolée si elle s'occupe d'un seul patient et que celui-ci est isolé ou si elle s'occupe de deux patients et que les alcôves directement à gauche et à droite sont vides.

Variables

- $x_{p,c,k} = \begin{cases} 1 & \text{si le patient } p \text{ est dans la chambre } c \text{ au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $z_{i,p,k} = \begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \text{ est affectée au patient } p \text{ au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $t_{p,c,k} = \begin{cases} 1 & \text{si le patient } p \text{ est transféré vers la chambre } c \text{ au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $v_{i,p_1,p_2,k} = \begin{cases} 1 & \text{si les patients } p_1 \text{ et } p_2 \text{ sont affectés à la même infirmière } i \text{ au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $Wmin_k =$ charge de travail minimale affectée à une infirmière au k
- $Wmax_k =$ charge de travail maximale affectée à une infirmière au k
- $pen_p =$ comptabilise le nombre de transferts au delà de 1 pour le patient p
- $pen_{c,k}^1 = \begin{cases} 1 & \text{si la chambre } c \text{ est occupée par un patient } p \text{ isolé au quart } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $pen_{i,k}^2 = \begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \text{ est isolée au quart } k \text{ et est affectée à deux patients} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

Fonction objectif et contraintes

$$\begin{aligned}
 Min \quad & \alpha_1 \sum_k (W_k^{max} - W_k^{min}) + \alpha_2 \sum_p \sum_k \sum_c t_{p,c,k} + \alpha_3 \sum_p \sum_k \sum_c coût_{p,k} t_{p,c,k} + \alpha_4 \sum_p \sum_{kn} \sum_c t_{p,c,k} \\
 & + \alpha_5 \sum_p pen_p + \alpha_6 \sum_c \sum_k pen_{c,k}^1 + \alpha_7 \sum_i \sum_k pen_{i,k}^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

Sujet à

$$\sum_c x_{p,c,k} = b_{p,k} \quad \forall p \in P, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_i z_{i,p,k} = b_{p,k} \quad \forall p \in P, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_p x_{p,c,k} \leq 1 \quad \forall c \in C, \forall k \in K \quad (4)$$

$$l.n_{i,k} \leq \sum_p z_{i,p,k} \leq L.n_{i,k} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\begin{cases} t_{p,c,1} \leq x_{p,c,1} \\ t_{p,c,1} \leq 1 - x_{p,c}^0 \\ t_{p,c,1} \geq x_{p,c,1}(1 - e_{p,1}) - x_{p,c}^0 \end{cases} \quad \forall p \in P, \forall c \in C, k = 1 \quad (6)$$

$$\begin{cases} t_{p,c,k} \leq x_{p,c,k} \\ t_{p,c,k} \leq 1 - x_{p,c,k-1} \\ t_{p,c,k} \geq x_{p,c,k}(1 - e_{p,k}) - x_{p,c,k-1} \end{cases} \quad \forall p \in P, \forall c \in C, \forall k \in K \setminus \{1\} \quad (7)$$

$$W_k^{max} \geq \sum_p w_{p,k} \cdot z_{i,p,k} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (7)$$

$$W_k^{min} \leq \sum_p w_{p,k} \cdot z_{i,p,k} \quad \forall i \in I \text{ tq } n_{i,k} = 1, \forall k \in K \quad (8)$$

$$x_{p,c,k} \leq M_{p,c,k} \quad \forall p \in P, \forall c \in C, \forall k \in K, \quad (9)$$

$$v_{i,p_1,p_2,k} \leq z_{i,p_1,k} \quad \forall (p_1, p_2) \in P \text{ tq } p_1 \neq p_2, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (10)$$

$$v_{i,p_1,p_2,k} \leq z_{i,p_2,k}$$

$$v_{i,p_1,p_2,k} \geq z_{i,p_1,k} + z_{i,p_2,k} - 1$$

$$\sum_c a_c x_{p_1,c,k} - \sum_c a_c x_{p_2,c,k} \leq A(1 - v_{i,p_1,p_2,k}) \quad \forall (p_1, p_2) \in P \text{ tq } p_1 \neq p_2, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (11)$$

$$\sum_c a_c x_{p_2,c,k} - \sum_c a_c x_{p_1,c,k} \leq A(1 - v_{i,p_1,p_2,k})$$

$$\sum_{c'} \sum_{p'} \text{vois}_{c,c'}^1 x_{p',c',k} \geq \sum_p x_{p,c,k} - \text{pen}_{c,k}^1 \quad \forall c \in C, \forall k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{c'} \sum_{p'} \text{vois}_{c,c'}^2 x_{p',c',k} \geq z_{i,p,k} + x_{p,c,k} + \sum_{p' \neq p} z_{i,p',k} - \text{pen}_{i,k}^2 - 2 \quad \forall p \in P, \forall c \in C, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (13)$$

$$\sum_c \sum_k t_{p,c,k} \leq 1 + \text{pen}_p \quad \forall p \in p \quad (14)$$

$$x_{p,c,k} \in \{0, 1\}, t_{p,c,k} \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P, \forall c \in C, \forall k \in K \quad (15)$$

$$z_{i,p,k} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall p \in P, \forall k \in K$$

$$v_{i,p_1,p_2,k} \in \{0, 1\} \quad \forall (p_1, p_2) \in P, \forall i \in I, \forall c \in C, \forall k \in K$$

$$W_k^{max} \geq 0, W_k^{min} \geq 0, \quad \forall k \in K$$

$$\text{pen}_p \geq 0 \quad \forall p \in P$$

$$\text{pen}_{c,k}^1 \in \{0, 1\} \quad \forall c \in C, \forall k \in K$$

$$\text{pen}_{i,k}^2 \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall k \in K$$

L'équation (1) traduit l'objectif de notre affectation à savoir équilibrer la charge de travail infirmière en cherchant à réduire l'impact des transferts (nombre et coût) tout en tenant compte de nos contraintes souples. Nous avons ici utilisé une définition plus simple de l'équilibre de la charge de travail qui permet tout de même de répondre aux trois critères de charges définis précédemment.

La contrainte (2) impose à la fois que seuls les patients dans l'unité puissent recevoir une chambre, mais aussi que celle-ci soit unique. La contrainte (3) exige d'avoir une seule infirmière par patient présent dans l'unité. Le nombre de patients par chambre est contraint par l'équation (4). La contrainte (5) fixe le nombre de patients par infirmière à 1 ou 2 si elle travaille pendant le quart et 0 sinon. La contrainte (6) permet de définir la variable de transfert t . Nous considérons qu'un patient a été transféré au quart k s'il n'était pas dans la même chambre en $k-1$ et qu'il ne vient pas d'entrer dans l'unité. Les équations (7) et (8) permettent de calculer la charge maximale et la charge minimale attribuées aux infirmières pendant le quart k . La contrainte (9) signifie qu'un patient ne peut être affecté qu'à une chambre répondant à ses besoins. Les contraintes (10) définissent la variable v . Les contraintes (11) imposent que si une infirmière est en charge de deux patients alors ceux-ci doivent être placés dans la même alcôve. Les contraintes (12) et (13) pénalisent les situations de patients ou d'infirmières isolés et la contrainte (14) les cas où un patient est transféré plusieurs fois durant l'intervalle de résolution. Enfin les contraintes (15) définissent les ensembles de définitions des variables.

4.4 Heuristique proposée

En plus du modèle précédent, nous proposons également une heuristique constructive pour résoudre ce problème. Elle se base sur le schéma décisionnel utilisé par les AICs aux SIP et présenté aux Figure 3.2 et Figure 3.3. Les différences se situent notamment au niveau des blocs encadrés en vert. Les blocs 1 déterminent les deux meilleurs patients à jumeler et les chambres dans lesquelles ils vont être placés. S'ils ne sont pas dans la même alcôve alors il y aura un transfert de lit. Les blocs 2 choisissent la meilleure chambre ou la meilleure alcôve pour accueillir le ou les patients. Notre heuristique se différencie alors de l'algorithme d'automatisation de la méthode du CHU Sainte-Justine :

- En **anticipant** les entrées et les sorties lors du choix des jumelages à faire et des chambres à choisir

- En utilisant un **coût de transfert variable** pour choisir le meilleur jumelage. La méthode de construction du coût variable sera détaillée en 5.3.1.2.
- En vérifiant lorsque nous plaçons un patient dans une chambre que ni le patient ni son infirmière **ne soit isolé** si possible.

Pour mieux comprendre ces points, nous présentons le pseudocode des deux fonctions permettant de déterminer le meilleur jumelage (*somme_acuites*) et la meilleure chambre pour un patient (*br_1*). Nos ajouts ou modifications sont signifiés par des encadrés verts.

La première fonction *somme_acuites* renvoie une matrice *liste* dont les composantes représentent la charge de travail associée aux jumelages de deux patients p_1 et p_2 . Si les deux patients ne sont pas jumelables, la variable prend la valeur 0. La fonction prend comme paramètre le quart k et le numéro de la sous-heuristique h ¹³. Pour la définir, nous utiliserons deux fonctions intermédiaires :

- *jum_possible*(p_1, p_2, k, h), qui vaut 1 s'il est possible de jumeler les patients p_1 et p_2 pendant le quart k . Deux patients sont jumelables s'ils existent une alcôve pouvant les accueillir et si l'un des deux à un Quant²is de catégorie inférieure ou égale à 2.
- *p_jumele*(p, k), qui renvoie 1 si le patient est déjà jumelé et 0 sinon

Nous utiliserons également plusieurs paramètres qui n'ont pas été explicités précédemment :

- *numP*, le nombre de patients qui seront présents dans l'unité durant l'intervalle de résolution
- *s_{p,k}*, qui prend la valeur 1 si le patient p sort de l'unité au quart k
- *cout_alc*, un multiplicateur qui permet d'augmenter le poids des transferts dans le calcul de l'acuité de deux patients. Il permettra de distinguer deux versions de notre heuristique. La première mettant l'accent sur la réduction du nombre de transferts et la seconde sur l'équilibrage de la charge de travail.
- *alc_{p1, p2, k}* dont la valeur vaut 1 si les patients p_1 et p_2 sont placés dans une même alcôve au quart k sans être jumelés

¹³ $h=1$ renvoie au changements au début du quart (Figure 3.2) et $h=2$ aux changements pendant le quart (Figure 3.3)

- $est_entre_{p,k}$: qui vaut 1 si le patient doit entrer dans l'unité, mais qu'il n'a pas encore été affecté à une chambre et une infirmière.

```

fonction somme_acuites(k,h)
  liste = zeros(numP,numP)
  if h = 1
    for p1 et p2 dans P
      if p1 ≠ p2, bp1,k-1 = 1, bp2,k-1 = 1, p_jumele(p1,k) = 0, p_jumele(p2,k) = 0, jum_possible(p1,p2,k,h) = 1 do
        listep1,p2 = wp1,k + wp2,k
        if alcp1,p2 = 0 do
          listep1,p2 = listep1,p2 + cout_alcove * max(coutp1,k, coutp2,k)
        end if
        if sp1,k = 1 ou sp2,k = 1 do
          listep1,p2 = listep1,p2 + cout_alcove * max(coutp1,k * (1 - sp1,k), coutp2,k * (1 - sp1,k))
        end if
      end if
    end for
  else
    for p1 et p2 dans P
      if p1 ≠ p2, bp1,k = 1, bp2,k = 1, p_jumele(p1,k) = 0, p_jumele(p2,k) = 0, jum_possible(p1,p2,k,h) = 1
      if est_entrep1,k = 0, est_entrep2,k = 0 do
        listep1,p2 = wp1,k + wp2,k
        if alcp1,p2 = 0 do
          listep1,p2 = listep1,p2 + cout_alcove * max(coutp1,k, coutp2,k)
        end if
        if sp1,k+1 = 1 ou sp2,k+1 = 1 do
          listep1,p2 = listep1,p2 + cout_alcove * max(coutp1,k * (1 - sp1,k+1), coutp2,k * (1 - sp1,k+1))
        end if
      end if
    end for
  end if
return (liste)

```

Figure 4.1 Pseudocode la fonction *somme_acuites*

Les rectangles bleus de la Figure 4.1 définissent les patients qui peuvent être jumelés. Les rectangles jaunes ajoutent les valeurs des Quanti²s de chaque patient à la charge totale de jumelage du duo de patients. Enfin, la première boucle des rectangles verts ajoute le coût de transfert maximum des deux patients à la charge de travail si ceux-ci ne sont pas dans la même alcôve. La seconde boucle anticipe la sortie d'un des deux patients et ajoute le coût de transfert associé. En effet, nous souhaitons éviter de jumeler des patients pour un seul quart, car cela peut conduire à autre transfert au quart suivant. Pour choisir le meilleur jumelage, une dernière fonction détermine le minimum (différent de 0) de la matrice obtenue par notre fonction.

Pour la seconde fonction, nous utiliserons aussi :

- le paramètre *ordre_chambres* qui définit quelles chambres doivent être affectées en priorité
- le paramètre $e_{p,k}$, qui prend la valeur 1 si le patient p entre dans l'unité au quart k
- le paramètre *numC* qui représente le nombre de chambres dans l'unité

- le paramètre $occ_{c,k}$ qui vaut 1 si la chambre est déjà occupée
- la fonction $i_isolé(i,c,k)$ qui renvoie 1 si l'infirmière i serait isolée¹⁴ si elle était affectée à la chambre c au quart k . Elle est l'équivalent de $pen^2_{i,k}$ dans le PLNE.
- la fonction $br_2(p_1,p_2,k)$ qui détermine la meilleure alcôve pour affecter deux patients

La fonction se décompose en deux parties :

- *Anticipation pour le choix de la chambre* : cette partie est découpée en deux sous-blocs (Figure 4.2)
 - *Anticipation si moins d'infirmières* : Le premier rectangle vert permet d'anticiper un jumelage au début du quart suivant, car il y a moins d'infirmières. C'est une particularité de notre heuristique. Nous cherchons à placer notre patient dans la même alcôve qu'un autre patient. Celui-ci est choisi en considérant le meilleur jumelage possible. Il peut être déjà affecté à une chambre ou entrer dans l'unité avant la fin du quart. Cependant, il ne doit pas sortir de l'unité pendant le quart en cours ou le quart suivant, ne pas être jumelé et pouvoir être jumelé avec notre patient.
 - *Anticipation selon le seuil* : Le deuxième rectangle vert présente le même fonctionnement, mais cette fois-ci, nous ne souhaitons anticiper un jumelage que si la somme totale des charges est inférieure à une valeur seuil. Nous ne souhaitons pas anticiper de « mauvais jumelage ».
- *Placement selon les contraintes* : la seconde partie de la fonction (rectangle bleu Figure 4.3) permet de choisir la meilleure chambre à affecter au patient s'il n'a pas été placé précédemment. Nous définissons un paramètre ch_c qui vaut 2 si le patient peut être affecté à la chambre, 0 s'il ne peut pas et 1 s'il est possible d'y affecter le patient, mais que l'affectation est pénalisée. Une chambre ne pourra pas être assignée au patient si elle ne correspond pas à ses besoins et si elle est occupée (contraintes dures). La chambre sera pénalisée si en y plaçant le patient cela conduit à une situation d'infirmière ou de patient

¹⁴ Lorsqu'une infirmière s'occupe d'un seul patient, infirmière isolée et patient isolé représente la même situation.

isolé (contraintes souples). Enfin nous choisissons la meilleure position pour le patient, en sélectionnant la chambre avec la plus haute valeur de la variable ch et prioritaire dans la liste d'affectation. L'ordre de priorité des chambres est défini en 5.3.2.2

```

fonction  $br\_1(p1, k)$ 
  if  $k \neq 21$ 
    if  $N_{k+1} - N_k < 0$  do
       $min = 999, c = 0$ 
      for  $p_2$  dans  $P$ 
        if  $p1 \neq p2, b_{p2,k1} = 1, p\_jumele(p2, k) = 0, jum\_possible(p1, p2, k, 2) = 1, s_{p2,k} + s_{p2,k+1} < 1$ 
          if  $est\_entre_{p2,k} = 0$  do
             $c_2$ , la chambre de  $p_2$ 
             $c_1$ , la chambre dans la meme alcove
            if  $occ_{c1,k} = 0, M_{p1,c1,k} = 1$  et  $w_{p2,k} < min$  do
               $c = c1$  et  $min = w_{p2,k}$ 
            end if
          end if
        else
          if  $w_{p2,k} < min$  do
             $c_1, c_2 = br\_2(p1, p2, k)$ 
             $c = c_1$  et  $min = w_{p2,k}$ 
          end if
        end if
      end for
    end if
  else do
     $min = seuil - w_{p1,k}, c = 0$ 
    for  $p_2$  dans  $P$ 
      if  $p1 \neq p2, b_{p2,k1} = 1, p\_jumele(p2, k) = 0, jum\_possible(p1, p2, k, 2) = 1, s_{p2,k} + s_{p2,k+1} < 1$ 
        if  $est\_entre_{p2,k} = 0$  do
           $c_2$ , la chambre de  $p_2$ 
           $c_1$ , la chambre dans la meme alcove
          if  $occ_{c1,k} = 0, M_{p1,c1,k} = 1$  et  $w_{p2,k} < min$  do
             $c = c1$  et  $min = w_{p2,k}$ 
          end if
        else
          if  $w_{p2,k} < min$  do
             $c_1, c_2 = br\_2(p1, p2, k)$ 
             $c = c_1$  et  $min = w_{p2,k}$ 
          end if
        end if
      elseif  $p1 \neq p2, c_{p2,k+1} = 1, jum\_possible(p1, p2, k, 2) = 1, s_{p2,k+1} = 0$  do
         $c_1, c_2 = br\_2(p1, p2, k)$ 
         $c = c_1$  et  $min = quantis_{p2,k}$ 
      end if
    end for
  end if
  if  $c \neq 0$  do
    return( $c$ )
  end if
end if

```

Figure 4.2 Pseudocode de la première partie de la fonction br_1

```

ch = [2 for c in numC]
for c1 dans C
  if occc1,k = 1 do
    chc = 0
  end if
  if Mp1,c1,k = 0 do
    chc = 0
  end if
  i l'infirmiere du patient p1
  if i_isolei,c1,k = 1 do
    chc = 1
  end if
end for
cmax = maximum(ch)
c = premiere chambre de la liste ordre_chambres telle que chc = cmax
return(c)

```

Figure 4.3 Pseudocode de la deuxième partie de la fonction *br_1*

Ainsi, notre heuristique propose une définition plus complète et complexe du « meilleur jumelage » et de la « meilleure chambre » afin d'améliorer les affectations des patients des infirmières, mais aussi des patients aux chambres.

CHAPITRE 5 EXPÉRIMENTATION

Dans le chapitre précédent, nous avons décrit notre modèle de résolution et présenté notre heuristique. Dans cette partie, nous allons dans un premier temps expliquer comment nous avons créé nos instances de test, quels seront les poids de nos critères de comparaison et comment nous avons paramétré les différentes méthodes. Puis nous comparerons leurs résultats en les testant sur nos données pseudo-réelles. Enfin, nous étudierons la sensibilité de notre heuristique selon trois critères : le coût de transfert, l'anticipation des entrées et des sorties et l'isolement des patients et des infirmières.

5.1 Génération des données pseudo-réelles

Afin de pouvoir tester nos différents modèles, nous devons analyser les résultats fournis sur différentes situations de l'unité. Nous avons donc choisi d'utiliser et de créer 10 instances de données simulant l'unité des soins intensifs pédiatriques sur une semaine soit 21 quarts, débutant par un quart de jour et finissant par un quart de nuit. Dans cette partie, nous détaillerons le processus d'élaboration des 10 jeux de données.

Les données dont nous avons besoin sont :

- Le nombre de patients,
- Le nombre d'entrées et de sorties,
- Le nombre d'infirmières,
- La valeur de Quanti²s des patients et leur variation dans le temps,
- La valeur des différents critères composant le Quanti²s,
- Les besoins particuliers des patients en termes de chambre.

Les instances que nous allons utiliser doivent représenter au mieux des situations pouvant exister dans l'unité. Pour cela, il nous fallait donc dans un premier temps analyser chacune des données nécessaires à nos modèles pour le CHU Sainte-Justine. A l'exception des besoins particuliers, pour lesquels nous ne disposons d'aucune donnée et que nous avons simulés en tenant compte de nos observations. Nous avons plus particulièrement observé la répartition des données selon le quart pour que les données puissent traduire une variation au cours d'une même journée.

Nombre de patients

Comme l'avons noté en 3.2, il n'y a pas de variation saisonnière pour le nombre total de patients dans l'unité. Nous nous sommes donc ici intéressés à la variation mensuelle du nombre moyen de patients mais selon le type de quarts (Tableau 5.1). Cette valeur ne semble pas dépendante du quart. Nous remarquons également dans ce tableau, un nombre très bas de patients pour le mois de novembre, cela s'explique par notre méthode de génération des données, comme détaillée en 3.2.

Tableau 5.1 : Nombre moyen de patients par mois selon le quart de travail

	Nov. 18	Déc. 18	Jan. 19	Fév. 19	Mars 19	Avr. 19	Mai 19	Juin 19	Juil. 19	Août 19	Sept. 19	Oct. 19	Moy.	Ecart -type
J	17	21	21	22	20	21	21	21	20	19	19	20	19,95	3,07
S	17	20	21	22	20	21	21	20	20	19	19	20	19,77	2,85
N	17	21	21	22	20	21	21	21	20	19	19	21	20,04	2,93

Par la suite, nous nous sommes intéressés aux quarts ayant le même nombre de patients. Nous avons cherché parmi une liste de lois de probabilités¹⁵ laquelle permettait de mieux représenter nos données. Nous avons classé les lois par la méthode des moindres carrés en calculant la somme des carrés des résidus (SCR). Nous considérons qu'une loi permet de représenter nos données si la SCR est inférieure à 0,10. Nous n'avons conservé sur la Figure 5.1 que les 4 premières lois respectant ce critère. Le détail des valeurs des SCR est donné en Annexe B. La loi la plus proche pour notre représentation est la loi log-gamma puis la loi de Student, la loi normale et enfin la loi log-normale. Nous avons cependant choisi de représenter notre nombre de patients par une loi normale de paramètres $\mu=20,03$ et $\sigma=2,66$. D'une part, car c'est une loi standard et qu'elle respecte notre critère des moindres carrés et d'autre part car dans la littérature nous n'avons pas trouvé de confirmation pour l'utilisation de la loi log-gamma ou la loi de Student pour générer des nombres de patients. Cette valeur est parfois fixe (Sir et al., 2015 [18] utilise la valeur moyenne) ou générée par une loi de Poisson ([6], [29]). Dans ce dernier exemple, selon la dimension de la nurserie le nombre de patients peut être faible (une dizaine de lits pour les petites nurseries). La loi de Poisson permet donc de générer des données pour différents scénarios de taille. Dans notre étude, nous

¹⁵ Les lois étudiées sont : la loi normale, la loi Bêta, la loi Gamma, la loi de Pareto, la loi de Student, la loi log-normale, la loi inverse-gamma, la loi inverse-gauss, la loi log-gamma, la loi du χ et la loi du χ^2

avons une moyenne de patients de 20, il est donc possible d'approximer la loi de Poisson par une loi normale¹⁶.

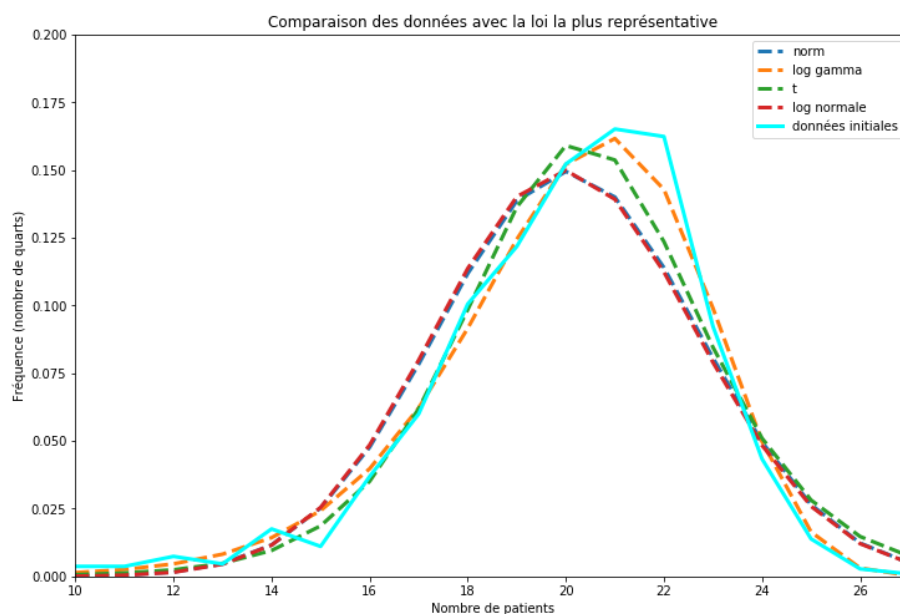


Figure 5.1 Comparaison entre les données du CHU Sainte-Justine et les lois de probabilités les plus proches

Nous supposons également que tous les patients sont différents c'est-à-dire qu'un même patient ne peut pas être admis plusieurs fois sur l'intervalle de temps ou du moins il sera présenté comme un patient différent.

Entrées et sorties

Une fois le nombre de patients déterminé, il nous faut ajouter un nombre d'entrées et de sorties permettant de faire le lien entre le nombre de patients de chaque quart. Pour cela, nous avons observé le nombre d'entrées et de sorties selon le type de quart (Tableau 5.2 et Tableau 5.3). Nous remarquons que le nombre d'entrées et de sorties est beaucoup plus faible la nuit, ce qui correspond bien à la réalité du terrain.

¹⁶ Aucune valeur seuil à partir de laquelle une loi de Poisson peut être approximée par une loi normale n'a été établie de manière unanime. Cependant, nous obtenons à travers différentes lectures, une valeur de l'ordre de 15 dans la pratique courante.

Tableau 5.2 Nombre moyen d'entrées et écart type selon le quart de travail

	Moyenne	Ecart-Type
J	1,42	1,25
S	1,01	0,98
N	0,59	0,72

Tableau 5.3 Nombre moyen de sorties et écart-type selon le quart de travail

	Moyenne	Ecart-Type
J	1,19	1,09
S	1,52	1,16
N	0,25	0,53

Pour chaque quart, nous avons également comparé les données du CHU Sainte-Justine avec les lois de probabilités les plus proches. En conservant le même critère pour la SCR, nous avons identifié 4 lois parmi les plus performantes pour représenter le nombre d'entrées et de sorties. Cependant, par souci de cohérence, nous avons décidé d'utiliser un seul type de loi. Ainsi, le Tableau 5.4 classe chacune de ces lois par ordre des SCR pour toutes les valeurs à calculer.

Tableau 5.4 Classement des lois par ordre croissant des SCR

	Entrées				Sorties			
	J	S	N	Moyenne	J	S	N	Moyenne
Loi normale	3	1	2	2	2	4	1	2,3
Loi log-gamma	4	2	1	2,3	3	3	2	2,7
Loi inverse-gamma	1	3	4	2,7	1	2	4	2,3
Loi log-normale	2	4	3	3	4	1	3	2,7

Nos remarquons que la loi normale est la meilleure loi si nous établissons un classement moyen. De plus, comme nous pouvons le voir en Annexe B, les lois inverse-gamma et log-normale ne respectent pas le critère de la SCR inférieure à 0,10 pour chacune des données à représenter. La loi normale est aussi celle qui a la SCR moyenne la plus faible. Ainsi, nous avons choisi de représenter chacune de nos données par des lois normales dont les paramètres sont donnés dans le Tableau 5.5. Nous remarquons que les valeurs moyennes sont les mêmes que celles calculées dans les tableaux Tableau 5.2 et Tableau 5.3 mais qu'il y a de légères variations au niveau de l'écart type. Nous

présentons également en Annexe B les représentations graphiques de chacune des lois étudiées pour chacun des cas.

Tableau 5.5 Paramètres des lois normales permettant de représenter le nombre d'entrées et de sorties par quart

	Entrées			Sorties		
	J	S	N	J	S	N
μ	1,42	1,01	0,59	1,19	1,52	0,25
σ	1,57	0,97	0,52	1,19	1,34	0,28

Afin de faire correspondre le nombre de patients par quart avec le nombre d'entrées et de sorties, nous avons généré nos données de telle manière à ce qu'elle respecte la formule $P_k = P_{k-1} + e_k - s_k$, tout en restant dans un intervalle de $\pm \sigma$ pour le nombre d'entrées et de sorties, représentant 68% de l'intervalle de données pour une loi normale. Avec P_k , le nombre de patients au quart k , e_k le nombre d'entrées et s_k le nombre de sorties.

Pour définir les patients qui entrent dans l'unité, nous avons simplement ajouté de nouveaux patients à notre liste initiale. Pour générer les sorties, nous avons deux possibilités : choisir aléatoirement un patient déjà entré parmi ceux de notre liste ou bien utiliser la DMS pour faire sortir un patient dont la durée de séjour est proche de la date de sortie. Pour cela, nous avons besoin de connaître la DMS des patients selon certaines caractéristiques. Nous avons étudié la DMS selon le PELOD2 et le Quanti²s. Cependant, nous n'avons trouvé aucune corrélation forte entre ces deux indicateurs et la DMS (coefficient de Pearson de 0,2 dans chacun des cas, voir Figure 5.2 et Figure 5.3). Nous ne pouvons donc pas les utiliser pour déterminer le patient à sortir. Nous avons donc sélectionné aléatoirement les patients qui quittaient l'unité. Il serait intéressant d'étudier la DMS selon d'autres variables comme le diagnostic, mais cela n'entraîne pas dans le cadre de notre étude.

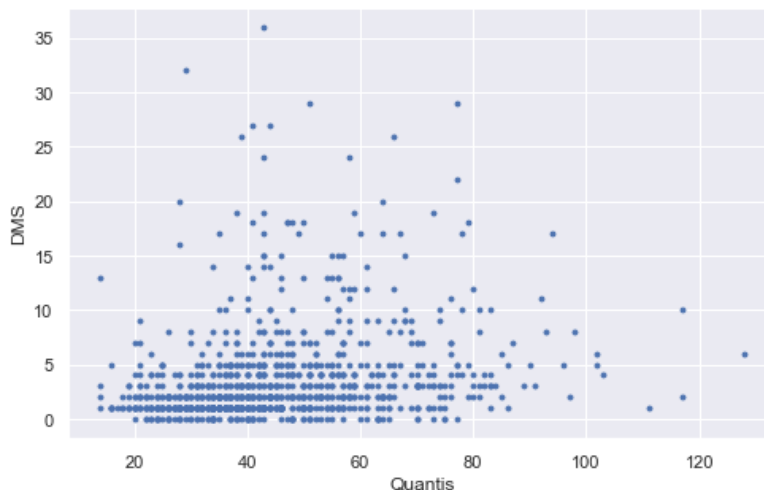


Figure 5.2 Durée de séjour des patients en fonction du Quanti²s à l'entrée dans l'unité (coeff. de Pearson=0,235)

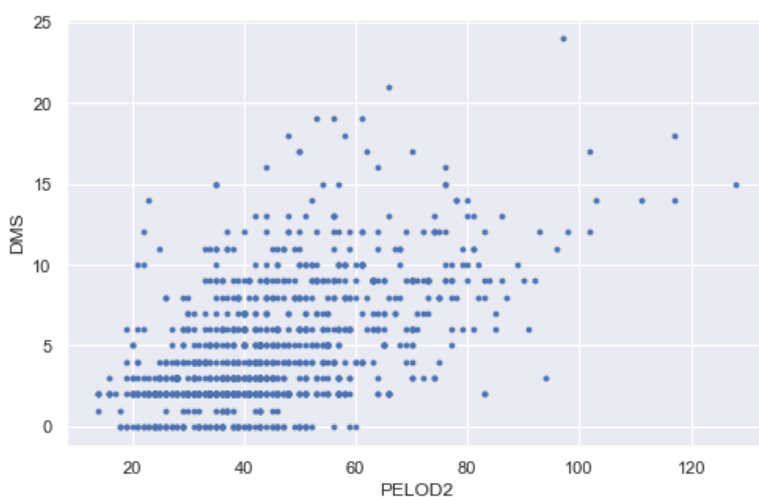


Figure 5.3 Durée de séjour des patients en fonction du PELOD2 à l'entrée dans l'unité (coeff. de Pearson=0,242)

Nombre d'infirmières

Le nombre d'infirmières prévu aux SIP est de 20 au quart de jour et 18 pour les quarts de soir et de nuit. Cependant, ces nombres comprennent les AICS et les chefs d'équipe. Généralement, pendant un quart, il y a deux infirmières pour chacun de ces groupes. Dons nous avons finalement 14 infirmières pour les quarts de nuits et de soir et 16 infirmières au quart de jour à affecter aux patients. Ces nombres sont théoriques, car s'il y a plus ou moins de patients prévus, si des infirmières sont absentes, etc., l'unité doit s'adapter en conséquence. A partir du Tableau A.1, nous

pouvons déterminer un nombre minimal d’infirmières (une par alcôve) et maximum (une par patient) présentes dans l’unité. Puis, nous avons calculé le nombre d’infirmières disponibles selon le nombre de patients en prenant 70% du minimum et 30% du maximum. Nous obtenons le tableau ci-dessous.

Tableau 5.6 Nombre d’infirmières selon le nombre de patients dans l’unité et le type de quart

	17	18	19	20	21	22	23
J	13	13	14	14	15	16	16
N	13	13	14	14	15	16	16
S	12	13	14	14	15	16	16

Ces valeurs semblent cohérentes avec un maximum d’infirmières à affecter de 16. Ainsi, pour générer notre nombre d’infirmières, nous avons utilisé les valeurs du tableau précédent avec une variation de +/-1 à en tenant compte du nombre de patients déjà calculé.

Valeur du Quanti²s et variation

Comme pour le nombre de patients, nous avons observé les Quanti²s des patients tout au long de l’année afin de déterminer s’il y avait des variations. Pour permettre de visualiser correctement l’ensemble des valeurs pour toute l’année d’étude, nous avons découpé le graphique ci-dessous en trois parties de quatre mois.

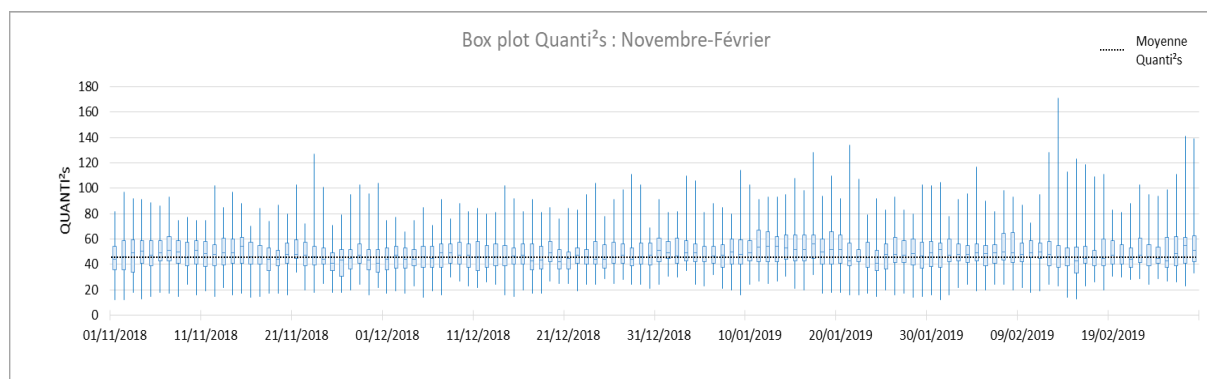


Figure 5.4 Variation du Quanti²s des patients entre novembre 2018 et février 2019

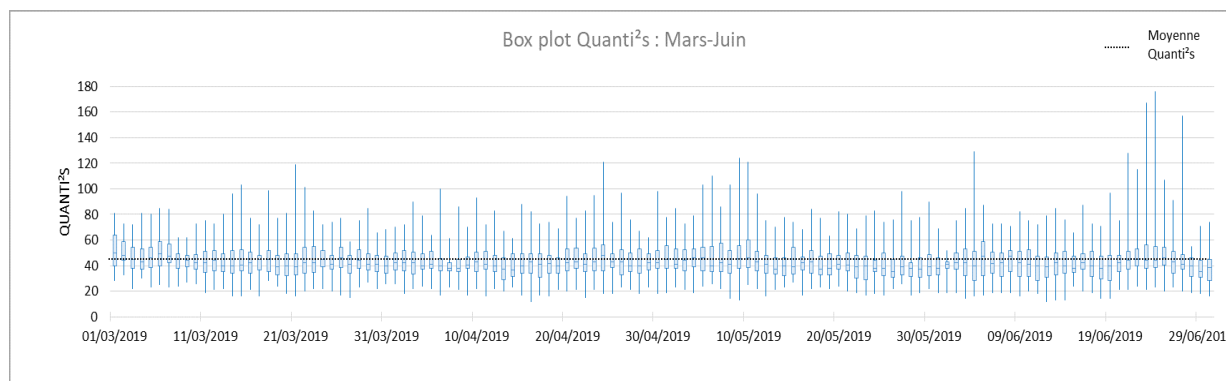


Figure 5.5 : Variation du Quanti²s des patients entre mars et juin 2019

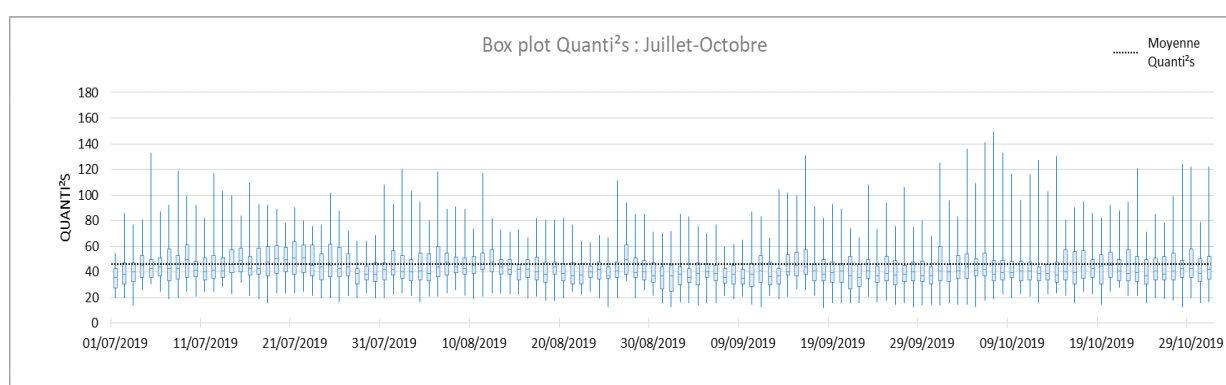


Figure 5.6 Variation du Quanti²s des patients entre juillet et octobre 2019

Nous n'observons aucune tendance saisonnière, cependant nous observons bien des variations du Quanti²s moyen des patients pendant l'année. Il est donc nécessaire d'ajouter dans nos données une fluctuation de la valeur de charge au fil des quarts. Pour cela, nous avons étudié le Quanti²s moyen des patients selon le quart, mais aussi selon la catégorie de charge. Nous rappelons que la catégorie 1 correspond à une charge inférieure ou égale à 30, la catégorie 2 à une valeur entre 31 et 55, la catégorie 3 est attribuée aux Quanti²s entre 56 et 80 et enfin la catégorie 4 pour toutes les valeurs supérieures à 81.

Tableau 5.7 Répartition des patients selon la catégorie de Quanti²s et le quart de travail

Quart	% de patients de cat1	Charge moyenne	% de patients de cat2	Charge moyenne	% de patients de cat3	Charge moyenne	% de patients de cat4	Charge moyenne	Moyenne globale
J	9,8%	25,6	61,9%	43,3	23,5%	64,94	4,9%	96,0	49,3
S	12,9%	24,6	64,4%	42,9	19,7%	64,28	3,0%	92,8	46,3
N	15,3%	24,6	70,9%	41,3	13,1%	63,31	0,7%	91,9	42,0

Le Tableau 5.7 traduit bien les variations de charge de travail des patients observés dans l'unité. En effet, la nuit les patients sont moins lourds pour les infirmières, car ils dorment et que de nombreuses activités quantifiant le Quanti²s ont lieu au quart de jour ou de soir (alimentation, soins d'hygiène, examens ...). Ainsi, le Quanti²s global et le Quanti²s moyen des patients par catégorie diminuent lors de la progression jour-soir-nuit mais surtout le nombre de patients de catégorie 3 ou 4 est beaucoup plus faible. Nous constatons la même variation dans l'étude de Debergh et al., 2012 [24]. Ces observations traduisent une variation normale de la charge attribuée aux patients. Cependant, il est également possible que l'état de santé d'un patient s'améliore ou se dégrade, alors la variation de la charge sera beaucoup plus importante.

Pour déterminer la valeur du Quanti²s des patients, nous avons donc fonctionné en deux étapes. La première est de déterminer la valeur de charge à l'admission et la seconde est la fluctuation de cette valeur. La charge de travail d'un patient lorsqu'il arrive dans l'unité sera déterminée selon le quart d'admission et les pourcentages présentés au Tableau 5.7. Ainsi, un patient admis au quart de jour aura une probabilité de 9,8% d'avoir un Quanti²s de catégorie 1. La valeur exacte est déterminée de manière aléatoire entre la valeur moyenne et +/- l'écart type (voir Tableau 5.8).

Tableau 5.8 Moyenne et écart-type de la charge de travail par catégorie de Quanti²s

Quanti ² s	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
Moyenne	25	42	64	94
Ecart-type	6	10	16	22

Pour la variation de Quanti²s, nous avons émis des hypothèses quant à la probabilité qu'un patient voit sa charge de travail varier (voir Tableau 5.9). Cette variation se découpe en 4 catégories:

- Aucune variation (20% des patients)
- Une variation normale : fluctuation de +/- σ selon la progression jour-soir-nuit
- Une amélioration du Quanti²s : diminution jusqu'à -2σ
- Une dégradation : augmentation jusqu'à -2σ .

La valeur exacte de la fluctuation est calculée aléatoirement dans l'intervalle. Pour les catégories 3 et 4, les variations négatives de la charge de travail ont été minorées pour que les patients ne puissent pas s'améliorer de plusieurs catégories entre deux quarts, mais avoir une variation plus progressive dans le temps.

Tableau 5.9 Probabilité de variation du Quanti²s et intervalle de valeurs selon le quart et la catégorie de la charge de travail

Quanti ² s	Variation possible	Pourcentage	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
J	Var. normale	50%	[0;6]	[0;10]	[0;16]	[0;22]
	Amélioration	20%	[-12;0]	[-20;0]	[-16;0]	[-26;0]
	Dégradation	10%	[0;12]	[0;20]	[0;32]	[0;44]
S	Var. normale	50%	[-6;0]	[-10;0]	[-8;0]	[-13;0]
	Amélioration	20%	[-12;0]	[-20;0]	[-16;0]	[-26;0]
	Dégradation	10%	[0;12]	[0;20]	[0;32]	[0;44]
N	Var. normale	50%	[-6;0]	[-10;0]	[-8;0]	[-13;0]
	Amélioration	20%	[-12;0]	[-20;0]	[-16;0]	[-26;0]
	Dégradation	10%	[0;12]	[0;20]	[0;32]	[0;44]

Critères composant le Quanti²s

Afin de calculer le coût de transfert, nous devons connaître la décomposition du Quanti²s pour 5 critères : âge, isolement, le mouvement, l'imprévisibilité et l'oxygénation. Avec la méthode de génération des Quanti²s décrite au paragraphe précédent, peu de patients auront des charges égales, donc la valeur des critères peut être fixe par Quanti²s. Ainsi, nous avons utilisé la moyenne des valeurs des critères pour les patients de même Quanti²s, d'après les données collectées dans l'unité (voir Tableau 5.10).

Tableau 5.10 Exemple des valeurs des critères composants le Quanti²s

Quantis	Moyenne de Age	Moyenne de Isolement	Moyenne de Oxygenation	Moyenne de MouvementSortie	Moyenne de Imprévisibilité
29	2	1	3	0	2
30	2	1	3	0	2
31	2	1	3	0	2
32	3	1	3	0	2
33	3	0	3	0	2
...
56	2	1	8	0	4
57	3	1	8	0	4
58	2	1	8	0	4
59	2	1	8	0	4
60	2	1	8	0	4
61	3	1	8	0	4
62	2	1	8	0	4
...
80	3	1	10	0	4
81	3	1	8	3	4

Besoins des patients dans les chambres

Comme nous ne disposions pas d'information sur le nombre de patients dont l'état de santé nécessite l'utilisation d'une chambre particulière (à pression négative ou positive, équipée pour l'hémodialyse), nous avons estimé des pourcentages en fonction de nos observations. Ainsi, pour les patients déjà présents dans l'unité au début du quart 1, nous avons défini que 20% d'entre eux possédaient un besoin particulier avec une répartition égale entre les 3 types possibles. Par la suite, à chaque entrée, le patient admis à 10% de chance d'avoir un besoin particulier.

Enfin, nous avons estimé que le changement de chambre d'un patient, car il a besoin d'une chambre avec une caractéristique différente était assez faible. Nous avons estimé cette possibilité à 1 ou 0 patient par semaine.

Situation avant le début de l'affectation

L'affectation des patients dans les chambres dépend évidemment de la situation dans l'unité au quart précédent (quart 0). Nous avons donc dû également générer des données pour le quart précédent le début de nos instances. Nous avons utilisé les méthodes décrites précédemment pour générer les nombres de patients et d'infirmières pour ce quart. Cependant, il nous manque deux informations : la position des patients dans les chambres et l'affectation des infirmières aux patients. Pour la position des patients dans les chambres, nous avons déterminé un nombre J minimum de jumelages dans des alcôves nécessaire pour avoir une affectation réalisable selon le nombre de patients et le nombre d'infirmières. Nous avons alors jumelé J fois deux patients aléatoirement parmi notre liste et les avons placés dans la même alcôve, en s'assurant qu'elle réponde à leur besoin. Puis nous avons placé les patients restants arbitrairement dans les chambres restantes. Pour l'affectation des infirmières aux patients, nous avons utilisé le modèle en programmation linéaire en nombres entiers décrit en 4.3, en utilisant la variable $x_{p,c,k}$ indiquant la position des patients dans les chambres comme un paramètre et non une variable. Nous obtenons alors la meilleure affectation possible des infirmières pour notre quart 0. Ainsi, nous avons pu générer 10 instances de données qui permettront de comparer nos différentes méthodes.

5.2 Détermination des poids des critères de la fonction objectif

Dans la partie 4.2, nous avons déterminé les paramètres qui permettront de comparer nos différentes méthodes. Il nous a fallu dans un second temps déterminer les poids de chacun des

critères, mais aussi réfléchir à une méthode de normalisation afin d'ajuster les différents ordres de grandeur des paramètres utilisés.

Pour définir les poids α_i de nos critères, nous avons utilisé la méthode AHP (Analyse Hiérarchique des Procédés) comme dans l'étude de Acar et Butt, 2016 [27]. C'est une méthode d'évaluation multicritères compensatoire développée dans les années 70 par Thomas Saaty qui est justement reconnue pour sa manière particulière de déterminer les poids des différents paramètres utilisés. Nous avons commencé par établir une structure hiérarchique de ces critères. Parmi eux, certains sont liés à l'affectation des patients aux chambres et d'autres à l'affectation des infirmières aux patients. Nous pouvons donc séparer nos critères pour les répartir dans deux sous-problèmes (voir Figure 5.7).

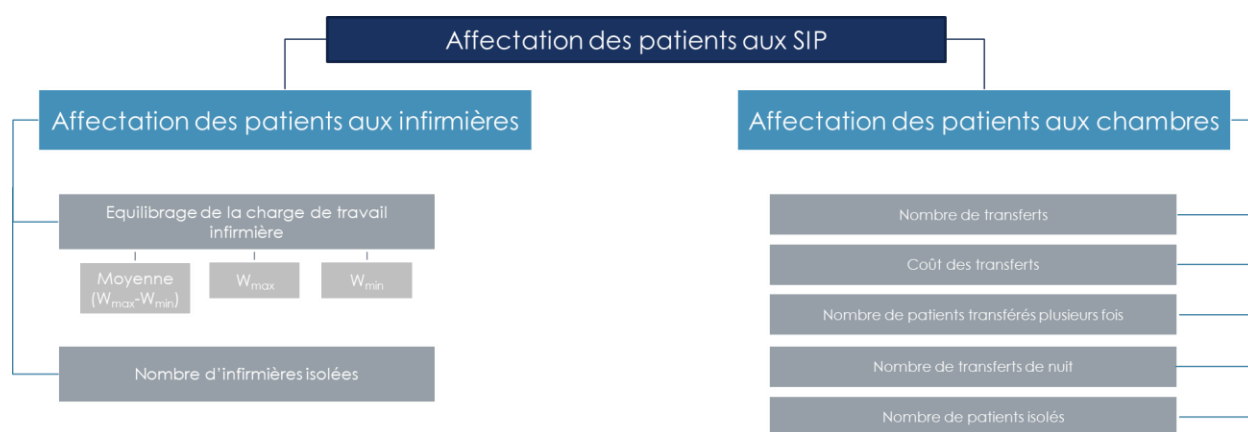


Figure 5.7 Schéma hiérarchique des critères de décision

Dans la méthode AHP, tous les critères sont hiérarchisés et comparés deux à deux selon une même échelle de décision. Pour chaque sous-problème et pour le critère de la charge de travail, il nous faut donc établir une matrice de comparaison pour chaque ensemble de critères. Pour cela, nous avons utilisé une échelle allant de 1 à 5. Soit M la matrice de comparaison des critères et soit i et j deux critères différents, $M_{ij}=1$ si i et j sont équivalents, $M_{ij}=2$ si i est très faiblement plus important que j , $M_{ij}=3$ si i est faiblement plus important que j , et $M_{ij}=4$ si i est fortement plus important que j et $M_{ij}=5$ si i est très fortement plus important que j . Le Tableau 5.11 est un exemple de matrice pour le sous-problème de l'affectation des patients aux chambres.

Tableau 5.11 Matrice de comparaison pour le sous-problème de l'affectation des patients aux chambres ($RC^{17}=5,07\%$)

	Nombre de transferts	Coût moyen de transfert	Nombre de transferts de nuit	Nombre de patients isolés	Nombre de patients transférés plusieurs fois
Nombre de transferts	1	2	3	4	4
Coût moyen de transfert	0,50	1	3	4	4
Nombre de transferts de nuit	0,33	0,33	1	3	3
Nombre de patients isolés	0,25	0,25	0,33	1	2
Nombre de patients transférés plusieurs fois	0,25	0,25	0,33	0,50	1

En utilisant les vecteurs propres, nous calculons les poids associés à chaque critère pour chaque matrice. Nous présenterons les autres matrices de comparaison en Annexe C. Le poids final des critères est obtenu en multipliant l'ensemble des poids intermédiaires. Nous obtenons ainsi le tableau final permettant de calculer les poids :

¹⁷ Ratio de cohérence. Si le ratio est inférieur à 10%, la matrice est cohérente.

Tableau 5.12 Poids des critères dans la fonction objectif

Sous-problème	Poids du sous-problème	Critère	Poids du critère	Sous-critère	Poids du sous-critère	Poids final pour chaque critère ou sous-critères
Affectation des infirmières aux patients	50%	Equilibre de la charge de travail infirmière	83,3%	Moyenne (Wmax-Wmin)	53,9%	22,5%
				Wmax	29,7%	12,4%
				Win	16,4%	6,8%
		Nombre d'infirmières isolées	16,7%		8,3%	
Affectation des patients aux chambres	50%	Nombre de transferts	38,9%			19,5%
		Coût moyen de transfert	29,4%			14,7%
		Nombre de transferts de nuit	16,3%			8,1%
		Nombre de patients isolés	8,8%			4,4%
		Nombre de patients transférés plusieurs fois	7%			3,3%
						100%

Les différents critères choisis ont des ordres de grandeur différents. Il nous faut donc les normaliser afin de pouvoir les utiliser dans la fonction objectif. Pour cela, selon notre échantillon de données, nous calculons la valeur de normalisation β_i de chaque critère selon les formules suivantes (voir Tableau 5.13).

Tableau 5.13 Critères de normalisation

Critères	Valeurs de la normalisation β
Nombre de transferts	$\sum_k E_k + S_k + \Delta inf_k + \Delta quantis_k$ <p> E_k : le nombre d'entrées pendant le quart k S_k : le nombre de sortie pendant le quart k Δinf_k : la diminution du nombre d'infirmière entre le quart k et le quart k-1 $\Delta quantis_k$: le nombre de patients dont la charge varie au-delà du critère pendant le quart k </p>
Coût moyen de transfert	Moyenne de tous les coûts de transferts des patients

Tableau 5.13 Critères de normalisation (suite et fin)

Critères	Valeurs de la normalisation β
Wmax	Somme des charges de deux patients les plus lourds prévus dans l'unité
Wmin	Maximum des charges minimum des patients
Moyenne Wmax-Wmin	Moyenne sur tous les quarts de la différence entre la charge maximale et la charge minimale des patients
Infirmière isolée	50
Patient isolé	50
Même patient transféré	Nombre de quarts où un transfert est possible
Transfert de nuit	$\sum_{kn} E_k + S_k + \Delta inf_k + \Delta quantis_k$

En plus de la valeur de la fonction objectif, nous comparerons les résultats des méthodes pour l'ensemble des critères séparément afin d'analyser la performance sur chacun de nos points d'attention.

5.3 Détermination des paramètres des heuristiques

Nous avons établi dans la partie précédente les critères qui permettront de comparer nos méthodes. Nous souhaitons également les comparer à la pratique courante. Pour cela, nous avons également écrit un algorithme simulant les affectations des patients aux infirmières et des patients aux chambres réalisées par les AICs au CHU Sainte-Justine (Figure 3.2 et Figure 3.3). Avant de passer à la comparaison, il nous faut donc paramétrer les différentes heuristiques pour répondre aux différentes questions posées en 3.1 :

- Qu'est-ce que le meilleur jumelage ?
- Comment définit-on une amélioration ou une dégradation significative de l'état de santé d'un patient ?
- Comment choisit-on la meilleure chambre libre ?

Dans la suite du texte, nous répondrons à ces trois problématiques pour chaque méthode en précisant les différences et les similitudes. Nous appellerons « heuristique SJ », l'algorithme représentant la pratique courante aux SIP et « heuristique V », la méthode que nous proposons.

5.3.1 Le meilleur jumelage et le coût d'un transfert

Lorsque les AICs doivent jumeler deux patients, nous avons observé qu'elles regardaient plus particulièrement la charge de travail des deux patients dont la somme quantifie la charge de travail globale infirmière. Dans chacune de nos heuristiques, une première étape est de calculer la somme des Quanti²s des patients jumelables. Pour rappel, deux patients sont jumelables si la somme de leur charge de travail n'est pas trop importante et s'il est possible de les placer dans une même alcôve. Nous avons ici supposé que deux patients peuvent être affectés à la même infirmière si l'un des deux est dans une catégorie de Quanti²s inférieure ou égale à 2 (Quanti²s <56). Un autre paramètre intervient également dans le choix du meilleur jumelage : la réalisation ou non d'un transfert. En effet, lorsque l'on jumèle deux patients déjà dans la même alcôve, il n'est pas nécessaire de transférer un patient. Ainsi, un coût doit être ajouté lorsqu'un transfert doit être programmé pour réaliser le jumelage. Nous appellerons cette valeur «le coût de transfert ».

5.3.1.1 Le coût de transfert fixe au CHU Sainte-Justine

Lors de nos observations, nous avons remarqué que les AICs ne différenciaient pas forcément les transferts si ce n'est en utilisant la charge de travail des patients. Ainsi, nous avons supposé que dans notre automatisation de la pratique courante, ce coût de transfert serait fixe. Afin de déterminer la valeur la plus cohérente avec la réalité du terrain, nous avons testé différentes valeurs :

- Coût de transfert = 50 : situation où chaque transfert est considéré comme très lourd et est donc à éviter.
- Coût de transfert = 0 : situation où les transferts ne pèsent pas vraiment sur la charge de travail et où le meilleur jumelage ne dépend que de la charge de travail des patients.
- Coût de transfert = 20 : situation intermédiaire.

Le critère de choix pour la valeur du coût de transfert était d'obtenir un nombre de transferts équivalent à celui observé dans l'unité. Nous comptons en 3.2 1,7 transfert par jour soit 11,9

transferts par semaine. Nous chercherons donc à utiliser la valeur permettant de se rapprocher de ce taux. Nous avons ainsi testé notre heuristique SJ sur les 10 semaines pour chacun des coûts de transferts et nous obtenons les résultats du Tableau 5.14.

Tableau 5.14 : Nombre de transferts selon le coût de transfert

Nombre de transferts	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Coût de transfert =50	5	4	7	2	4	2	5	3	4	5	4,10
Coût de transfert = 20	7	14	16	6	8	13	14	9	7	9	10,30
Coût de transfert = 0	34	23	19	38	21	26	30	28	21	26	26,60

Selon notre critère de comparaison, il nous faut choisir un coût de transfert de 20. Nous notons que plus ce coût est élevé moins il y a de transferts. En effet, nous privilégions bien dans le cas d'une valeur élevée, les jumelages au sein de la même alcôve. Cela a aussi des conséquences sur la charge de travail infirmière, car nous n'allons pas forcément jumeler les patients dont la somme des charges est la plus faible. Dans les tableaux en Annexe D, nous remarquons d'une part que la moyenne des charges de travail maximales affectées à une infirmière est bien plus importante pour un coût de 50 mais aussi d'autre part que la moyenne des écarts entre la charge maximale et la charge minimale des infirmières est plus faible pour un coût de 0. La charge de travail y est donc mieux équilibrée. Enfin, nous observons qu'avec un coût plus élevé, la moyenne des fonctions objectives est meilleure. Privilégier la diminution du nombre de transferts semble donc une piste intéressante selon nos critères de comparaisons. La comparaison des résultats des différents coûts pour l'ensemble des critères est également présentée en Annexe D.

5.3.1.2 La méthode de calcul d'un coût de transfert variable

Comme nous l'avons expliqué en 3.3, chaque transfert a une charge différente sur l'unité. Afin, de diminuer l'impact des transferts de lits sur l'unité, nous pouvons en diminuer le nombre, mais aussi en diminuer la lourdeur. Pour cela, une méthode permettant de calculer la charge (ou le coût) d'un transfert se révèle particulièrement utile. Dans cette partie, nous allons donc décrire notre méthodologie de construction d'un coût de transfert. Nous avons tout d'abord cherché à déterminer les facteurs à prendre en compte dans notre méthode, puis à définir des poids pour chacun d'entre eux et enfin nous avons terminé par tester notre méthode sur différents patients fictifs.

Notre premier critère de choix pour déterminer les facteurs à prendre en compte de notre calcul du coût des transferts était d'utiliser des données déjà disponibles dans l'unité. D'une part pour

pouvoir tester directement notre méthode et d'autre part pour ne pas ajouter de travail supplémentaire au personnel de l'unité en collectant de nouvelles données. Parmi les données déjà utilisées, nous disposons de l'ensemble des critères composant le Quanti²s. Cependant, l'ensemble de ces valeurs ne sont pas pertinentes, car certaines n'impactent pas les transferts. Ainsi, pour sélectionner les indicateurs les plus pertinents, nous nous sommes basés sur nos observations précédentes comme second critère de choix. En effet, nous avons pu noter que différents paramètres sont à prendre en compte durant un transfert de lit:

- La charge de travail associée au patient
- L'isolement qui impacte la durée du nettoyage
- Le type de ventilation qui influence à la fois la complexité de la préparation du patient, mais aussi le travail des inhalothérapeutes
- L'âge du patient, car les patients plus jeunes (âge scolaire ou bébé) demandent plus d'attention de la part des infirmières
- Le risque à transférer le patient :
 - Instabilité de l'état de santé (possibilité de présenter des complications)
 - Mouvement du patient pendant le transfert.

Ainsi, nous avons pu extraire 6 indicateurs du Quanti²s pour représenter chacun de ces critères dont le détail des valeurs possibles (appelées côtes) est donné en Annexe E.

- **Oxygénation / ventilation** : attribution d'une valeur entre 0 et 10 en fonction du mode de ventilation ou d'oxygénation
- **Imprévisibilité** : cette valeur traduit le risque qu'a le patient de développer des complications « qui auront un impact significatif sur le déroulement de la journée pour l'équipe de soins infirmiers » [28]. Ainsi, on évitera de déplacer un patient fortement imprévisible.
- **Stade de développement** : valeur attribuée selon l'âge de l'enfant, qui traduit la différence d'attention apportée dans les soins de l'enfant.
- **Isolement** : initialement ce critère attribue une valeur de 0 ou 2 selon la présence ou non d'un isolement peu importe le type. Dans notre cas, le type d'isolement impacte la lourdeur

du transfert. Nous avons donc établi une échelle allant de 2 à 6 lorsqu'il y a un isolement traduisant la complexité du nettoyage à réaliser.

- **La catégorie de Quanti²s**: il s'agit d'un classement de la valeur du Quanti²s en quatre catégories. Un patient sera considéré comme lourd au-delà de la catégorie 3.

Une fois les paramètres composant le coût du transfert déterminés, nous avons dû leur attribuer un poids en fonction de notre objectif qui est de quantifier la lourdeur d'un transfert. Actuellement, la quantification utilisée permet de calculer la charge de travail pour une infirmière.

Pour cela, nous nous sommes appuyés sur le travail d'Allen, 2015 [20] qui s'interroge sur les objectifs de l'affectation patient-infirmière, mais surtout des facteurs qui influencent l'affectation, car nous n'avons pas pu mener d'enquête dans l'unité. Dans notre cas, nous nous intéressons uniquement aux facteurs liés aux patients. En effet, nous ne disposons pas d'informations concernant les infirmières et les informations concernant l'environnement impacte l'affectation mais pas forcément les transferts.

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous la correspondance établie entre nos indicateurs et les facteurs présentés par Allen. Le poids attribué correspond aux nombres d'infirmières qui ont mis en avant le critère comme facteur de décision lors de l'affectation des patients.

Tableau 5.15 Tableau récapitulatif des poids des facteurs

Paramètres	Intervalle sur l'échelle Quanti ² s	Facteur correspondant dans [20]	Poids attribué dans le calcul du coût de transfert
Oxygénation / ventilation	10-0	Diagnostique	4
Mouvement de patient et soins requis	25-0	Transfers	8
Imprévisibilité	6-0	Condition	1
Âge	4-1	Age	1
Isolement	6-0	Safety measures	5
Catégories Quanti ² s	4-1	Workload	10

Nous obtenons alors la formule suivante pour le calcul du coût d'un transfert :

$$\begin{aligned}
 \text{coût_transfert} = & 10x_{\text{catégorie}} + 8x_{\text{mouvement}} + 5x_{\text{isolement}} + 4x_{\text{oxygénation}} \quad (5.1) \\
 & + x_{\text{age}} + x_{\text{imprévisibilité}}
 \end{aligned}$$

Nous avons testé notre méthode sur différents patients en faisant varier soit la valeur du Quanti²s et donc la catégorie soit les facteurs composant la formule. Ainsi, comme nous pouvons le voir dans le tableau ci-dessous, le coût de transfert n'est pas uniquement proportionnel à la valeur du Quanti²s. Le patient 8 est moins lourd que le patient 10, mais à un coût de transfert plus élevé. De la même manière, nous remarquons qu'à Quanti²s égal, deux patients peuvent avoir des coûts de transferts différents (patients 4 et 5).

Tableau 5.16 Calcul du coût de transfert pour 10 patients

Patient	Quanti ² s	Catégorie	Oxygénation	Mouvement	Isolement	Age	Imprévisibilité	Coût du transfert
1	16	1	0	0	0	1	2	13
2	26	1	5	0	0	3	0	33
3	32	2	5	0	0	4	2	46
4	39	2	3	0	3	2	2	51
5	39	2	0	0	0	4	3	27
6	49	2	10	0	0	2	4	66
7	56	3	10	6	0	4	4	126
8	81	3	0	18	0	2	2	178
9	92	4	10	0	2	2	6	98
10	111	4	10	0	4	4	6	110

Nous avons pu présenter notre méthode de calcul à l'un des pédiatres de l'unité. Celui-ci nous a fait un retour positif quant à la réexploitation des données Quanti²s et à la méthodologie employée. Cependant, nous n'avons pour le moment eu aucun retour des gestionnaires de l'unité et notamment des AICs sur la formule utilisée, nous ne pouvons donc pas confirmer si elle reflète bien le poids réel d'un transfert.

Ce coût de transfert variable sera utilisé dans notre heuristique V et dans notre modèle en programmation linéaire en nombres entiers (appelé PLNE dans la suite du texte). Cependant, comme nous l'avons vu pour le cas du CHU Sainte-Justine, il impacte fortement le nombre de transferts puisqu'il permet de choisir entre jumeler une alcôve et transférer un patient. Ainsi, nous avons décidé de proposer deux alternatives pour notre heuristique V :

- L'**heuristique V1** qui cherche avant tout à réduire le nombre de transferts et où le coût de transfert sera multiplié par 5 le jour et 10 la nuit privilégiant ainsi le jumelage des alcôves

- L'**heuristique V2** pour laquelle l'accent est mis sur l'équilibre de la charge de travail et donc où l'on jumèle les patients dont la charge finale est la plus faible. Le coût de transfert est alors uniquement multiplié par 5 la nuit.

Nous avons choisi d'utiliser un coût plus important la nuit pour traduire une des contraintes identifiées lors de nos observations à savoir éviter les transferts de nuit pour ne pas déranger les patients pendant leur sommeil.

Lorsque nous réaliserons des tests dans les parties suivantes, nous comparerons systématiquement les deux alternatives V1 et V2 de notre heuristique.

5.3.2 Autres paramètres

Une fois le coût de transfert fixé pour chacune de nos méthodes, nous avons pu déterminer les autres paramètres (variation significative de la charge et meilleure chambre possible). Pour chacun d'entre eux, nous avons effectué nos tests à partir de l'heuristique SJ avec un coût de transfert de 20.

5.3.2.1 Amélioration et dégradation significatives de la charge de travail

Dans la partie 3.1 portant sur nos observations dans l'unité, nous avons identifié plusieurs scénarios pouvant conduire à des transferts de patient dont la dégradation ou amélioration de l'état d'un ou plusieurs patients. Cependant, nous n'avons pas pu déterminer concrètement ce que signifiaient ces termes. Nous avons tout d'abord posé l'hypothèse que l'état de santé d'un patient se dégradait s'il était considéré comme non lourd (catégories de charge 1 ou 2) et qu'au quart suivant sa charge de travail augmentait dans les catégories 3 ou 4. Inversement, l'état d'un patient s'améliore s'il passe d'une catégorie de charge 3-4 à une catégorie de charge 1-2.

Cette définition pose néanmoins des problèmes lorsque le $Quantis$ d'un patient se situe à la limite entre les catégories 2 et 3. Il nous a donc fallu déterminer un paramètre appelé « critère de variation minimale » qui correspond à la variation de $Quantis$ acceptable pour considérer une dégradation ou une amélioration de l'état de santé du patient. Une valeur trop basse pour ce paramètre induirait un nombre de transferts trop important afin de libérer une infirmière pour chaque nouveau patient lourd alors qu'une valeur trop haute impliquerait qu'une infirmière continuerait de s'occuper de deux patients avec le risque qu'ils soient tous les deux lourds.

Nos données initiales ne représentant pas assez de variations, nous les avons modifiées manuellement afin de créer davantage de situations d'amélioration ou de dégradation du Quanti²s. Nous avons alors comparé trois valeurs de critères de charge : 50, 20 et 0. Nous remarquons bien dans le Tableau 5.17 qu'avec une valeur de 0, nous obtenons beaucoup plus de transferts qu'avec une valeur de 20 ou 50. Les résultats en termes de nombre de transferts sont similaires pour un critère de variation minimale de 50 ou 20 à l'exception des semaines 7 et 9. Nous avons donc également pris en compte les critères de l'équilibrage de la charge de travail (voir Tableau 5.18). Le critère de variation minimale est identique en moyenne pour ces deux valeurs. Cependant, pour un coût de charge de 20, les critères de la charge maximale et de l'écart entre charge maximale et minimale sont légèrement meilleurs. C'est pourquoi nous avons fixé la valeur du paramètre à 20. Les résultats pour les autres critères sont répertoriés en Annexe F.

Tableau 5.17 Nombre de transferts selon la valeur du critère de variation minimale

Nombre de transferts	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Critère de variation = 50	9	8	14	10	9	10	13	7	8	9	9,70
Critère de variation = 20	9	8	14	10	9	10	16	7	7	9	9,90
Critère de variation = 0	12	17	14	15	12	11	17	12	10	9	12,90

Tableau 5.18 Résultats des critères de l'équilibrage de la charge de travail selon le critère de variation minimale

Charge maximale	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Critère de variation = 50	111	99	112	104	107	119	113	106	122	114	110,70
Critère de variation = 20	111	99	112	104	107	119	91	106	122	114	108,50
Critère de variation = 0	90	94	106	100	107	110	89	106	95	114	101,10

Charge minimale	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Critère de variation = 50	27	7	23	27	23	22	25	20	20	21	21,50
Critère de variation = 20	27	7	23	27	23	22	22	20	20	24	21,50
Critère de variation = 0	23	7	25	27	23	22	22	20	20	21	21,00

Moyenne charge _{max} -charge _{min}	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Critère de variation = 50	51	53	60	54	57	55	53	50	52	70	55,50
Critère de variation = 20	51	53	60	54	57	55	47	50	53	72	55,20
Critère de variation = 0	50	51	49	46	52	49	44	47	51	70	50,90

5.3.2.2 La meilleure chambre possible

Le choix de la meilleure chambre pour un patient dépend de contraintes dures (voir Tableau 4.2). Une chambre ne peut accueillir qu'un seul patient, elle doit correspondre aux besoins de ce dernier et si deux patients sont jumelés alors ils seront placés dans la même alcôve. Cependant, plusieurs chambres peuvent alors répondre à ces contraintes. Nous avons alors remarqué que dans l'unité, certaines chambres étaient plus souvent remplies que d'autres. En effet, il est courant dans les unités d'avoir des règles implicites de placement comme affecter en priorité les chambres près de l'entrée, utiliser certaines chambres pour les patients de longue durée, etc. Nous n'avons néanmoins pas pu récolter cette information pour les SIP. Nous nous sommes alors basés sur notre représentation de la position des patients dans l'unité pour savoir si certaines chambres étaient plus utilisées que d'autres. En comptant le nombre de quarts où les chambres étaient pleines, nous avons pu classer les chambres selon leur taux d'utilisation.

Tableau 5.19 Classement des chambres par taux d'occupation

Chambre	26	27	23	3	24	25	4	18	29	28
Taux d'utilisation	96,7%	95,7%	94,0%	93,0%	92,2%	92,1%	88,8%	82,7%	81,4%	80,5%

Chambre	1	2	22	19	16	17	5	6	12	20	30
Taux d'utilisation	80,3%	79,8%	77,7%	76,1%	74,2%	72,1%	68,7%	68,0%	58,0%	50,3%	50,0%

Chambre	7	31	33	21	15	8	14	32	10	9	11
Taux d'utilisation	49,6%	49,0%	45,6%	44,1%	38,8%	38,6%	25,5%	23,9%	23,7%	0,9%	0,0%

Le Tableau 5.19 met en avant des groupes de chambres souvent occupées comme les chambres 26-27, 23-24-25, 29-28, 3-4 et 1-2 mais aussi des chambres peu remplies comme les chambres 9-10. Ces observations traduisent les préférences des AICs lorsqu'elles placent les patients que nous n'avons pas pu formaliser. Nous avons tenu compte de ce classement lorsque plusieurs chambres correspondaient aux contraintes dures pour nos heuristiques et la simulation de la pratique courante. Cependant, comme nous l'avons présenté en 4.4, nos heuristiques V1 et V2 se différencient également de l'heuristique SJ en ajoutant des critères dans la définition de la meilleure chambre possible. Tout d'abord en anticipant les entrées et des sorties puis lors du choix d'une chambre,

après une entrée ou un transfert, nos heuristiques chercheront à placer les patients sans besoins particuliers dans des chambres sans équipements spéciaux ou bien à éviter de créer des situations d'isolement pour une infirmière ou un patient. Ces critères vont ainsi modifier l'attribution des chambres aux patients.

5.4 Comparaison des différentes méthodes et analyse des résultats obtenus

Dans les parties précédentes, nous avons créé des instances permettant de tester nos méthodes et nous avons paramétré nos heuristiques. Nous allons, dans cette partie, comparer les résultats selon les critères choisis. Pour rappel, nous chercherons à minimiser la fonction objectif et chacun des critères à l'exception de la charge minimale que nous souhaitons maximiser. Parmi les critères, certains correspondent à des contraintes souples qui ne sont pas implémentées dans toutes les méthodes. Le Tableau 5.20 récapitule les caractéristiques des différentes solutions d'affectation.

Tableau 5.20 Caractéristiques des méthodes proposées

Méthodes	Coût de transfert	Anticipation	Infirmières et patients isolés	Eviter de transférer plusieurs fois le même patient	Gestion particulière des transferts de nuit
Automatisation de la méthode utilisée au CHU SJ (Heuristique SJ)	Fixe	Aucune anticipation	Non	Non	Non
Heuristique proposée (Heuristique V)	Variable	Anticipation des entrées et des sorties lors du prochain quart	Oui, nous éviterons de choisir une chambre conduisant à un isolement	Non	Oui, coût de transfert deux fois plus important
Programmation linéaire en nombres entiers (PLNE)	Variable	Résolution sur deux quarts en conservant uniquement les résultats du premier	Oui, ajout de pénalités	Oui, ajout d'une pénalité	Oui, pénalité pour les transferts de nuit

Nous rappelons que l'heuristique SJ correspond à l'automatisation de la méthode utilisée au SIP où les décisions sont prises quart par quart. L'heuristique V1 est la version de notre heuristique cherchant à réduire le nombre de transferts et l'heuristique V2 la version qui met l'accent sur l'équilibre de la charge de travail. Les affectations se font quart par quart avec des possibilités d'anticiper le quart suivant. L'indication PLNE renvoie au modèle en programmation linéaire en nombres entiers. Afin de le faire correspondre avec les heuristiques, nous avons résolu le PLNE quart par quart avec un horizon de deux quarts, ce qui permet d'anticiper le quart suivant. Nous avons résolu chacune de ces méthodes pour les 10 instances de données composées chacune de 21 quarts. Dans un premier temps, nous allons présenter les résultats obtenus pour la semaine 1 et plus particulièrement la fonction objectif et les résultats concernant le nombre de transferts, les 3 critères de l'équilibre de la charge de travail et le nombre de patients et d'infirmières isolés. Nous allons ainsi pouvoir observer des différences concrètes entre les méthodes. Pour cette série de données, nous obtenons les fonction objectifs ci-dessous :

Tableau 5.21 Résultats de la fonction objectif des différentes méthodes pour la semaine 1

Méthode	Fonction objectif globale pour les 21 quarts
Heuristique SJ	0,40
Heuristique V1	0,37
Heuristique V2	0,34
PLNE	0,11

La méthode automatisée du CHU SJ est la moins performante et le PLNE la plus efficace. Pour comprendre ces différences, nous allons regarder le détail de chaque critère. Tout d'abord les Figure 5.8 et Figure 5.9 montrent respectivement les charges de travail maximale et minimale affectées à des infirmières pour l'ensemble des quarts de la première semaine de données. Nous remarquons qu'aucune méthode ne permet d'obtenir à coup sûr la charge de travail maximale la plus basse ou la charge de travail minimale la plus haute sur chaque quart. Cependant, l'heuristique

V1 est celle qui obtient les moins bons résultats avec respectivement une charge maximale de 94 au quart 11 et une charge minimale de 18 aux quarts 17 et 18.

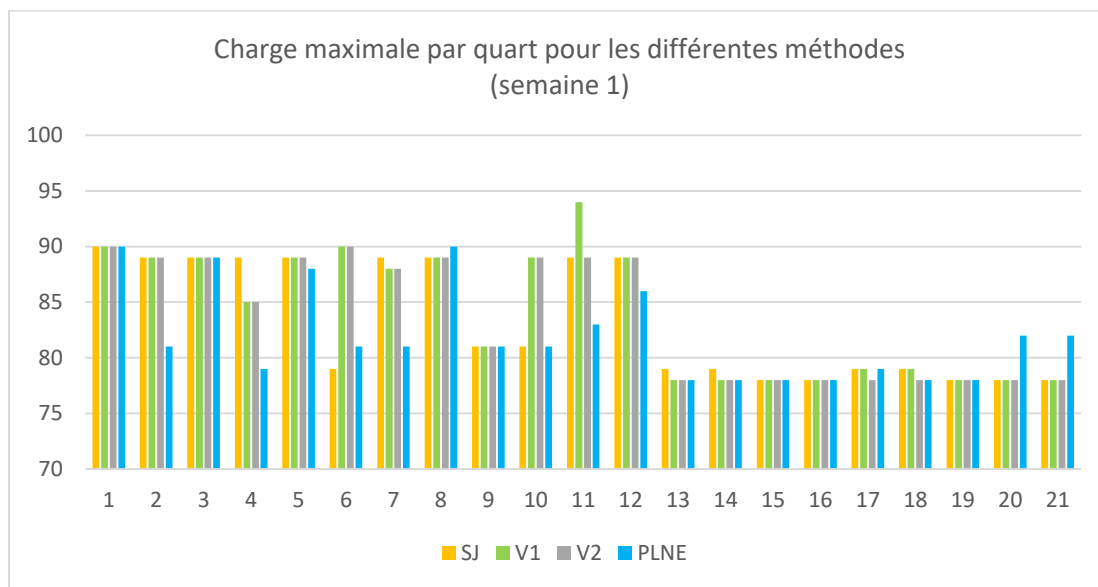


Figure 5.8 Graphique représentant les charges maximales affectées à une infirmière sur l'ensemble des quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées

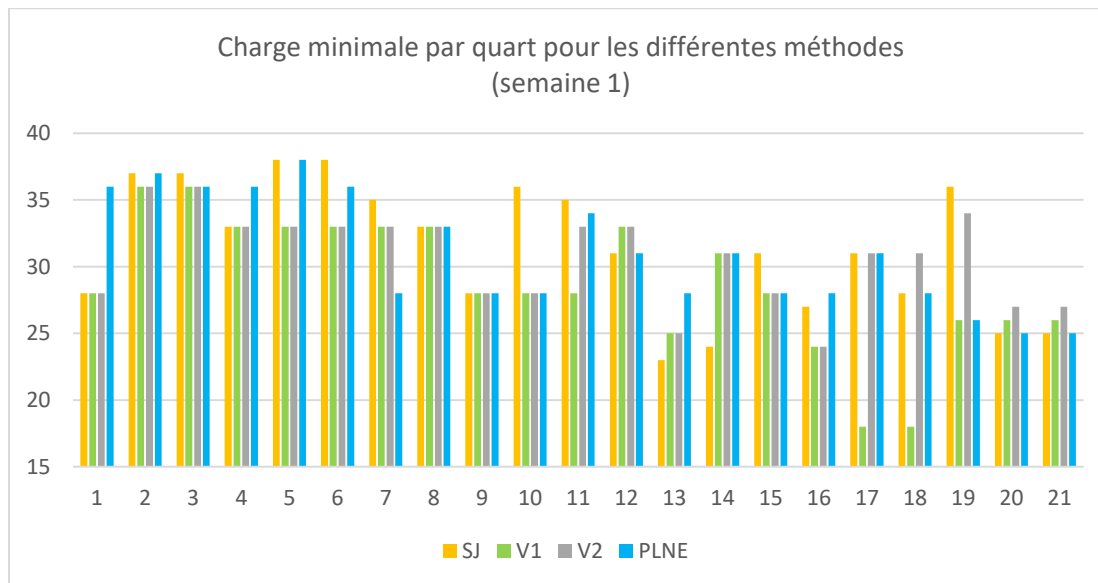


Figure 5.9 Graphique représentant les charges minimales affectées à une infirmière sur l'ensemble des quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées

Afin de connaître la méthode proposant le moins bon équilibre de la charge sur les 21 quarts et pas le moins bon résultat sur un seul quart, nous pouvons étudier le critère calculant la moyenne

des écarts de charge au fur et à mesure de la résolution. Nous présentons à la Figure 5.10 les résultats pour chacune des méthodes. Nous observons que les résultats de l'heuristique V2 sont très proches de ceux de l'heuristique V1. Nous rappelons que nous souhaitons minimiser la différence de charge. Nous remarquons également que le PLNE obtient les résultats les plus stables d'un quart sur l'autre ce qui permet une équité entre les infirmières tout au long de la semaine. Mais c'est l'heuristique SJ qui obtient les meilleurs résultats en cumulé à la fin des 21 quarts et donc le meilleur équilibre global de la charge de travail.

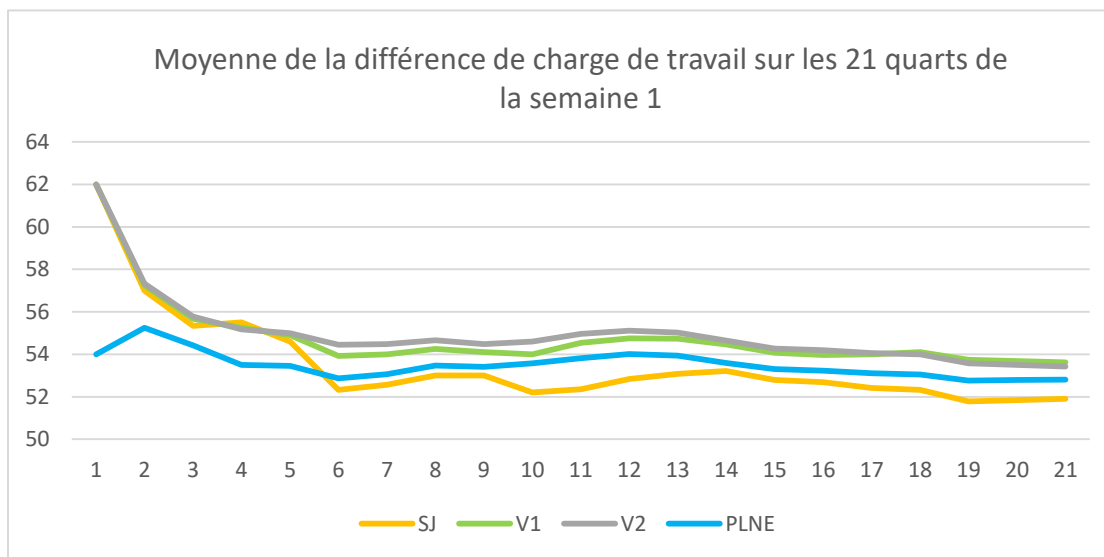


Figure 5.10 Graphique représentant la moyenne des écarts de charge de travail des infirmières sur l'ensemble des quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées

Pourtant c'est bien l'heuristique SJ qui présente les moins bons résultats en termes de fonction objectif d'après le Tableau 5.21. Cela s'explique, car cette méthode présente le plus de transferts et le plus de patients et d'infirmières isolés. La Figure 5.11 montre les transferts cumulés au cours de la semaine. Nous remarquons que notre heuristique permet d'éviter certains transferts réalisés par le CHU SJ mais que d'autres semblent inévitables avec notre schéma de résolution basé sur la réflexion des AICs (quart 14 et quart 19 pour l'heuristique V2), alors qu'avec le PLNE nous pouvons ne faire aucun transfert.

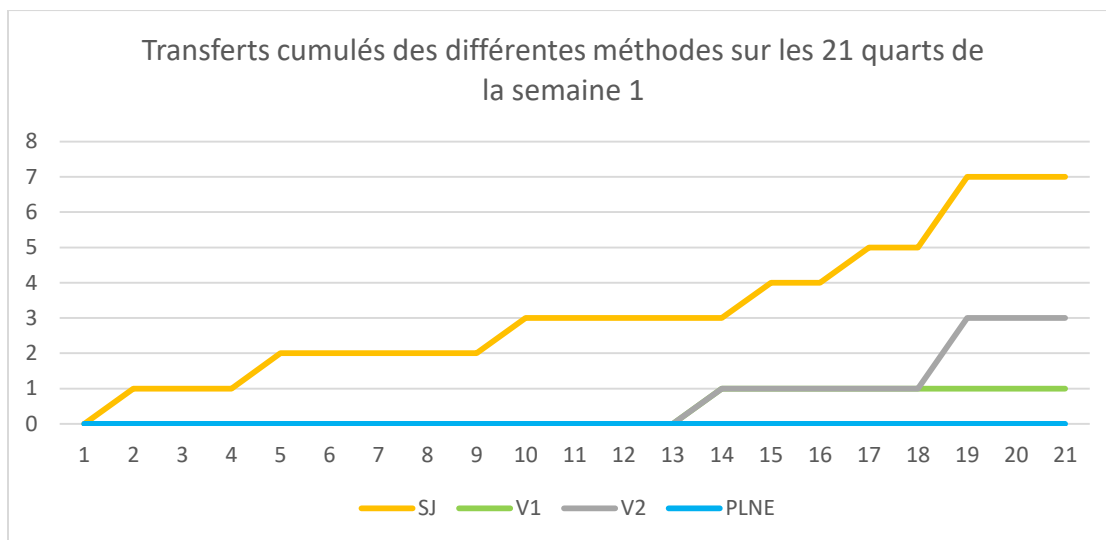


Figure 5.11 Graphique représentant les transferts cumulés sur les 21 quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées

Le nombre de patients et d'infirmières isolés ne semble au contraire pas suivre de schéma répétitif selon les méthodes (Figure 5.11 et Figure 5.12). En effet, lorsque les méthodes réalisent ou non des transferts, les positions des patients dans les chambres sont totalement bouleversées. Il devient alors difficile de comparer les situations d'isolement entre des affectations avec des nombres de transferts très différents. Cependant, le PLNE reste la méthode permettant d'éviter le plus d'infirmières et de patients isolés et l'heuristique SJ est la moins efficace des méthodes.

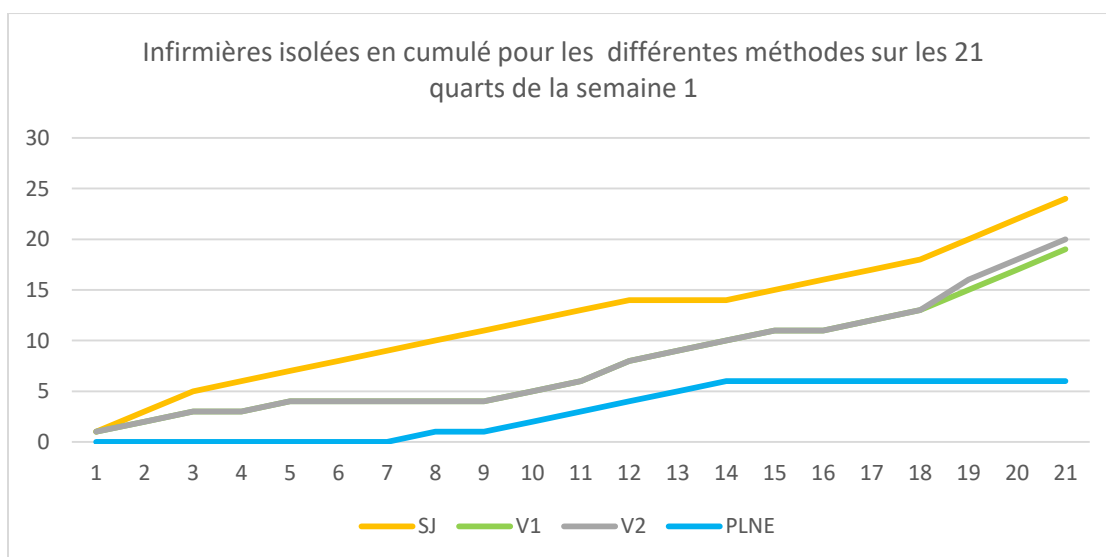


Figure 5.12 Graphique représentant le nombre cumulé d'infirmières isolées sur les 21 quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées

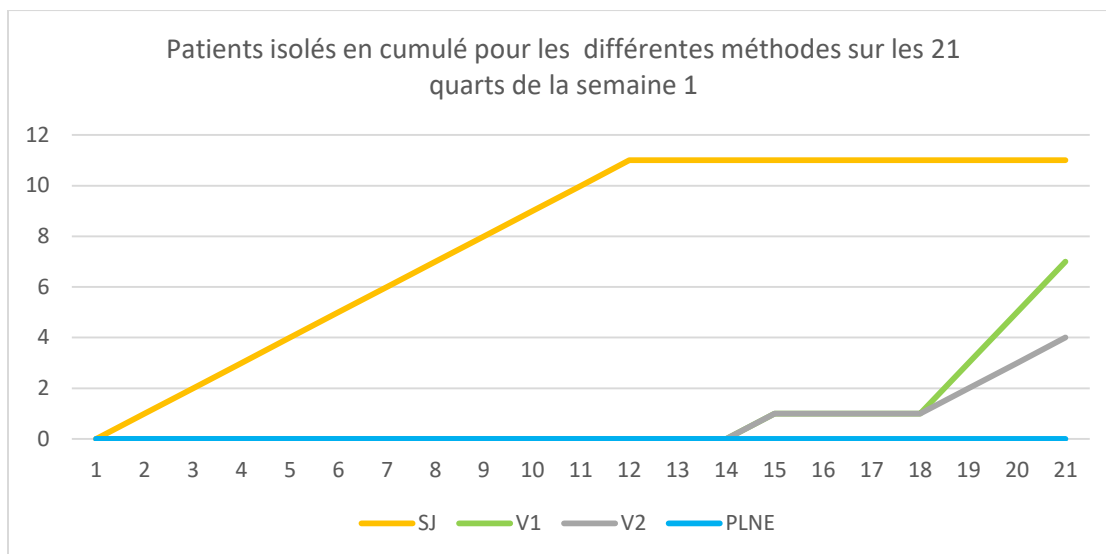


Figure 5.13 Graphique représentant le nombre cumulé de patients isolés sur les 21 quarts de la semaine 1 pour les différentes méthodes étudiées

Maintenant que nous avons étudié en détail les résultats pour une semaine et que nous avons compris les différences pouvant exister entre les méthodes, nous pouvons nous intéresser aux résultats globaux pour nos 10 instances de données. Pour analyser et confronter les performances de nos différentes méthodes, nous avons utilisé les résultats l'automatisation de l'affectation au CHU Sainte-Justine (Heuristique SJ) comme base de comparaison. Pour chacun des critères, nous mesurons l'écart entre cette heuristique et la méthode proposée. Un écart en pourcentage sera calculé pour les différents critères. La formule est donnée par l'équation (5.2)¹⁸. Pour le nombre de transferts et le nombre d'infirmières et de patients isolés, nous indiquerons également la différence en unité. Les améliorations des valeurs seront signifiées par des valeurs en gras.

$$Ecart_{\%} = \frac{\text{Valeur de la méthode} - \text{Valeur de l'heuristique SJ}}{\text{Valeur de l'heuristique SJ}} \quad (5.2)$$

Comme nous nous intéressons ici plus particulièrement aux transferts et à la charge de travail, nous présenterons en Annexe G les résultats des critères portant sur les infirmières et les patients isolés ainsi que le nombre de patients transférés plusieurs fois.

¹⁸ Nous chercherons à maximiser le critère de la charge minimale, l'écart est donc mesuré selon l'opposé de la formule.

En comparant nos résultats pour les 10 instances, nous remarquons que notre heuristique V est plus performante que ce que propose le CHU Sainte-Justine pour la quasi-totalité des instances. En moyenne, il est possible de diminuer la valeur de la fonction objectif de 20% pour l'heuristique V1 et 17% pour l'heuristique V2. Cependant le PLNE est encore plus efficace. Les affectations proposées permettent de diminuer de moitié la valeur de la fonction objectif, par rapport à l'heuristique SJ (Tableau 5.22).

Tableau 5.22 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Fonction objectif

	Fonction objectif			
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	PLNE
S1	0,40	-9%	-16%	-73%
S2	0,45	-38%	-16%	-51%
S3	0,54	-44%	-17%	-50%
S4	0,36	0%	11%	-22%
S5	0,43	-37%	-37%	-47%
S6	0,47	-17%	-21%	-45%
S7	0,46	-30%	-30%	-54%
S8	0,44	-2%	-16%	-45%
S9	0,48	-25%	-25%	-73%
S10	0,38	3%	-5%	-34%
Moyenne	0,44	-20%	-17%	-49%

Pour savoir quels critères permettent d'obtenir cette amélioration, nous allons tout d'abord nous intéresser aux critères reliés au nombre de transferts : nombre de transferts, nombre de transferts de nuit et coût moyen de transfert. Encore une fois, les heuristiques permettent de diminuer de manière importante le nombre de transferts, mais le PLNE reste la méthode la plus performante. En effet, pour 7 semaines sur 10, il est possible de n'avoir aucun transfert dans l'unité (Tableau 5.23). De plus, les patients transférés sont beaucoup moins lourds (voir

Tableau 5.24). Ainsi, notre heuristique et notre modèle en programmation linéaire en nombres entiers permettent d'atteindre notre premier objectif, la diminution de l'impact des transferts sur l'unité, à la fois en diminuant leur nombre, mais aussi leur charge.

Tableau 5.23 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Nombre de transferts

	Nombre de transferts						
	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		PLNE	
S1	7	-6	-86%	-4	-57%	-7	-100%
S2	14	-14	-100%	-13	-93%	-14	-100%
S3	16	-15	-94%	-10	-63%	-15	-94%
S4	6	-1	-17%	+1	17%	-5	-83%
S5	8	-8	-100%	-8	-100%	-8	-100%
S6	13	-6	-46%	-8	-62%	-12	-92%
S7	14	-13	-93%	-11	-79%	-14	-100%
S8	9	-8	-89%	-6	-67%	-9	-100%
S9	7	-4	-57%	-4	-57%	-7	-100%
S10	9	-7	-78%	-6	-67%	-9	-100%
Moyenne	10,30	-8,2	-76%	-6,9	-63%	-10,0	-97%

Tableau 5.24 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Autres critères liés aux transferts

	Nombre de transferts de nuit							Coût moyen des transferts			
	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		PLNE		Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	PLNE
S1	1	-1	-100%	-1	-100%	-1	-100%	38	-5%	-24%	-100%
S2	2	-2	-100%	-2	-100%	-2	-100%	40	-100%	-60%	-100%
S3	3	-2	-67%	0	0%	-3	-100%	50	-72%	-30%	-72%
S4	2	-2	-100%	0	0%	-2	-100%	31	-3%	23%	-23%
S5	5	-5	-100%	-5	-100%	-5	-100%	55	-100%	-100%	-100%
S6	5	-3	-60%	-4	-80%	-5	-100%	44	-11%	-30%	-68%
S7	3	-2	-67%	-2	-67%	-3	-100%	36	-61%	-53%	-100%
S8	2	-2	-100%	-2	-100%	-2	-100%	48	-23%	-40%	-100%
S9	5	-4	-80%	-4	-80%	-5	-100%	71	-39%	-39%	-100%
S10	2	-2	-100%	-2	-100%	-2	-100%	34	3%	-15%	-100%
Moyenne	3,0	-2,5	-87%	-2,2	-73%	-3,0	-100%	44,7	-41%	-37%	-86%

Cependant, en jouant sur le nombre de transferts, nous intervenons également sur l'équilibre de la charge de travail infirmière. En effet, sans transfert il n'est pas possible d'ajuster au mieux la répartition de la charge des infirmières avec la contrainte des alcôves ce qui peut impliquer un moins bon équilibre. Les résultats du Tableau 5.25 nous confirment ce point pour notre heuristique. Les trois critères quantifiant la charge de travail sont meilleurs avec la méthode utilisée au CHU

Sainte-Justine. Néanmoins, la différence avec notre heuristique reste faible si l'on compare avec l'écart en termes de transferts, notamment pour la charge de travail maximale et la charge de travail minimale sur la semaine. De plus, ces variations ne traduisent pas de changement de catégorie de Quanti²s importante¹⁹. Nous devons quand même porter attention au critère mesurant la moyenne des écarts des charges. L'écart entre notre heuristique V1 et l'heuristique SJ est de 15% en moyenne, ce qui est non négligeable. L'écart est plus faible avec l'heuristique V2. En effet, cette deuxième version met l'accent sur l'équilibre de la charge de travail, elle est donc meilleure pour les trois critères de charge, là où l'heuristique V1 est meilleure pour les critères liés aux transferts. Nous observons également que le PLNE est moins bon que l'heuristique SJ pour les critères de charge maximale et d'écart de charges, mais la différence est vraiment faible, 6% et 3% respectivement. Il est cependant meilleur pour le critère de la charge minimale.

Tableau 5.25 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes – Critères liés à la charge de travail

	Charge maximale				Charge minimale				Moyenne (Wmax-Wmin)			
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	PLNE	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	PLNE	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	PLNE
S1	90	4%	0%	0%	23	22%	-4%	-9%	52	6%	2%	-2%
S2	94	0%	15%	0%	7	0%	0%	-186%	52	13%	13%	0%
S3	101	5%	6%	2%	23	0%	0%	0%	56	9%	7%	-4%
S4	98	6%	6%	0%	27	33%	4%	15%	47	19%	15%	-4%
S5	97	9%	9%	7%	21	5%	5%	0%	50	28%	28%	8%
S6	103	8%	8%	14%	22	-9%	0%	-23%	51	16%	20%	10%
S7	88	19%	3%	8%	22	0%	0%	-5%	48	23%	6%	6%
S8	94	18%	18%	18%	23	13%	13%	0%	48	21%	10%	6%
S9	122	2%	2%	-3%	20	0%	0%	-15%	53	15%	15%	6%
S10	114	0%	0%	10%	24	0%	4%	0%	72	4%	3%	4%
Moyenne	100,1	7%	7%	6%	21,2	6%	2%	-22%	52,9	15%	12%	3%

Le modèle en programmation linéaire en nombres entiers est également le plus efficace en ce qui concerne les critères d'isolement. Il permet d'éviter d'avoir des patients isolés pour la quasi-totalité

¹⁹ La charge la plus lourde affectée à une infirmière correspond toujours à un patient de catégorie 4.

des instances et réduit fortement les situations d'isolement des infirmières. Pour notre heuristique, les résultats sont mitigés. Si pour l'heuristique V1, les résultats sont légèrement meilleurs en moyenne, pour l'heuristique V2, ils sont équivalents voir moins bons. De plus, cela dépend des instances. Pour certaines, l'heuristique SJ est bien meilleure. Cette irrégularité s'explique, car les patients isolés et les infirmières isolées sont liés au placement des patients dans les chambres et donc aux entrées mais surtout aux transferts comme expliqués précédemment. Il est donc difficile de comparer des méthodes avec des nombres de transferts très différents. Enfin, pour le dernier critère, à savoir les patients transférés plusieurs fois, nous remarquons que ce sont des situations qui arrivent rarement pour nos heuristiques. Pour le PLNE, il est possible d'éviter totalement ces cas.

Nous remarquons ainsi que le modèle en programmation linéaire en nombres entiers semble le plus performant sur la quasi-totalité des critères comme le montrent les résultats de la fonction objectif. Cependant, le temps de résolution avec le PLNE est bien plus important. Si pour certains quarts, il est possible d'obtenir le résultat optimal en moins de 5 minutes, pour d'autres l'optimalité n'est pas atteinte en 30 minutes²⁰. Nous remarquons que dans ces cas-là, CPLEX reste figé sur la même solution pendant de nombreuses minutes et ne parvient pas à l'améliorer et donc à diminuer la valeur du gap. Les heuristiques mettent quant à elles quelques minutes pour être résolues. Il y a donc un compromis à faire entre la qualité des résultats et la rapidité d'obtention de la solution. Si nous observons les temps de résolution et les valeurs du gap (Annexe H) pour chaque semaine et pour chaque quart, nous remarquons que l'optimalité n'est pas atteinte pour 27% des quarts. Cependant, si pour certaines semaines le gap moyen reste bon (6% en moyenne pour la semaine 1 avec 8 quarts où l'optimalité n'est pas atteinte), pour d'autres les résultats nécessitent plus d'attention pour valider l'affectation (gap moyen de 19% pour la semaine 3).

5.5 Analyse de la sensibilité des heuristiques

Nos heuristiques V1 et V2 se différencient de la pratique courante selon 3 critères principaux : le coût de transfert variable versus fixe, l'anticipation des entrées et des sorties lors du choix des

²⁰ Comme nous l'avons vu en 2.2.2, l'affectation des patients aux infirmières est un problème opérationnel qui doit souvent être résolu rapidement. Le seuil de 30 minutes est alors souvent utilisé comme limite de temps.

chambres et lorsqu'un patient entre la possibilité d'éviter d'avoir un patient ou une infirmière isolés. Dans cette partie, nous étudions l'impact de chaque critère en l'ajoutant à l'heuristique SJ et en le supprimant de nos heuristiques V1 et V2.

5.5.1 Au coût de transfert

Pour observer l'impact du coût de transfert sur nos différentes heuristiques, nous avons tout d'abord ajouté un coût variable dans l'heuristique SJ puis utilisé un coût fixe dans l'heuristique V. Le coût de transfert influe sur le nombre de transferts, le coût moyen de transfert²¹, mais aussi sur l'équilibre de la charge de travail. Nous nous attarderons donc particulièrement sur ces critères.

Comme nous avons défini deux coûts variables dans notre heuristique V, l'un réduisant les transferts (heuristique V1) et l'autre équilibrant mieux la charge de travail (heuristique V2), nous avons testé les deux dans l'automatisation de la pratique courante. Les résultats obtenus pour la fonction objectif, les critères du nombre de transferts et l'équilibre de la charge de travail sont présentés Tableau 5.26, Tableau 5.27 et Tableau 5.28.

Tableau 5.26 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Fonction objectif

	Fonction objectif		
	Coût fixe	Coût variable V1	Coût variable V2
S1	0,40	-3%	-10%
S2	0,45	-18%	-20%
S3	0,54	-22%	-15%
S4	0,36	-8%	28%
S5	0,43	-16%	-7%
S6	0,47	-30%	-23%
S7	0,46	-9%	-13%
S8	0,44	18%	9%
S9	0,48	-13%	-17%
S10	0,38	-3%	29%
Moyenne	0,44	-11%	-5%

²¹ Afin de montrer qu'utiliser un coût fixe pousse à transférer des patients plus lourds, le coût moyen de transfert est toujours calculé à partir du coût variable

Tableau 5.27 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés aux transferts

	Nombre de transferts					Nombre de transferts de nuit					Coût moyen des transferts		
	Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1	Coût variable V2
S1	7	-1	-14%	-3	-43%	1	0	0%	+1	100%	38	-34%	-34%
S2	14	-13	-93%	-10	-71%	2	-2	-100%	-2	-100%	40	-65%	-58%
S3	16	-14	-88%	-11	-69%	3	-3	-100%	-2	-67%	50	-30%	-6%
S4	6	-4	-67%	+3	50%	2	-1	-50%	+3	150%	31	-61%	48%
S5	8	-6	-75%	-4	-50%	5	-4	-80%	-5	-100%	55	-75%	-27%
S6	13	-11	-85%	-10	-77%	5	-5	-100%	-4	-80%	44	-68%	-36%
S7	14	-12	-86%	-6	-43%	3	-2	-67%	+1	33%	36	-19%	-36%
S8	9	-6	-67%	-4	-44%	2	0	0%	0	0%	48	-19%	-25%
S9	7	-5	-71%	-4	-57%	5	-5	-100%	-4	-80%	71	-30%	-21%
S10	9	-8	-89%	-1	-11%	2	-2	-100%	0	0%	34	-59%	29%
Moyenne	10,3	-8,0	-73%	-5,0	-42%	3,0	-2,4	-70%	-1,2	-14%	44,7	-46%	-17%

Tableau 5.28 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés à l'équilibrage de la charge de travail

	Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)		
	Coût fixe	Coût variable V1	Coût variable V2	Coût fixe	Coût variable V1	Coût variable V2	Coût fixe	Coût variable V1	Coût variable V2
S1	90	36%	0%	23	-9%	-4%	52	19%	4%
S2	94	-2%	27%	7	0%	0%	52	52%	8%
S3	101	21%	5%	23	0%	0%	56	29%	9%
S4	98	6%	8%	27	48%	0%	47	32%	9%
S5	97	14%	13%	21	5%	0%	50	54%	20%
S6	103	1%	8%	22	9%	0%	51	33%	18%
S7	88	34%	1%	22	0%	0%	48	19%	0%
S8	94	30%	30%	23	13%	13%	48	44%	21%
S9	122	7%	-3%	20	0%	0%	53	25%	2%
S10	114	23%	2%	24	38%	0%	72	15%	1%
Moyenne	100,1	17%	9%	21,2	10,4%	1%	52,9	32%	9%

Nous remarquons que l'ajout d'un coût de transfert variable permet de réduire de manière importante le nombre de transferts, le nombre de transferts de nuit et le coût moyen des transferts pour la quasi-totalité de nos instances. Ainsi, la charge globale des transferts sur l'unité est réduite, car d'une part ils sont moins nombreux et d'autre part les patients transférés sont moins lourds. Cependant, en diminuant les transferts, nous observons une dégradation de l'équilibrage de la charge de travail. En effet, l'heuristique SJ avec le coût fixe présente de meilleurs résultats pour les 3 critères. Néanmoins, l'ajout d'un coût variable permet globalement d'améliorer les résultats, car la fonction objectif est meilleure dans les deux cas avec un coût variable. L'ensemble des résultats pour les autres critères sera présenté en Annexe I.

L'ajout d'un coût de transfert variable est donc profitable pour la pratique courante. Nous allons donc maintenant observer les résultats si nous utilisons un coût fixe dans notre heuristique V. Nous comparerons les résultats aux heuristiques V1 et V2 avec un coût variable (voir Tableau 5.29, Tableau 5.30 et Tableau 5.31).

Tableau 5.29 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Fonction objectif

	Fonction objectif		
	Coût fixe Heuristique V	Coût variable Heuristique V1	Coût variable Heuristique V2
S1	0,40	-28%	7%
S2	0,39	-23%	5%
S3	0,51	-16%	-10%
S4	0,42	-19%	-21%
S5	0,41	-37%	-15%
S6	0,44	-2%	-11%
S7	0,50	-26%	-8%
S8	0,46	-9%	-17%
S9	0,36	0%	0%
S10	0,51	-24%	-25%
Moyenne	0,44	-20%	-17%

Tableau 5.30 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés aux transferts

	Nombre de transferts					Nombre de transferts de nuit					Coût moyen des transferts		
	Coût fixe Heuristique V	Coût variable Heuristique V1		Coût variable Heuristique V2		Coût fixe Heuristique V	Coût variable Heuristique V1		Coût variable Heuristique V2		Coût fixe Heuristique V	Coût variable Heuristique V1	Coût variable Heuristique V2
S1	12	-11	-92%	-9	-75%	3	-3	-100%	-3	-100%	42	-14%	-31%
S2	13	-13	-100%	-12	-92%	0	0	-	0	-	52	-100%	-69%
S3	15	-14	-93%	-9	-60%	5	-4	-80%	-2	-40%	43	-67%	-19%
S4	10	-5	-50%	-3	-30%	4	-4	-100%	-2	-50%	39	-23%	-3%
S5	8	-8	-100%	-8	-100%	4	-4	-100%	-4	-100%	42	-100%	-100%
S6	14	-7	-50%	-9	-64%	3	-1	-33%	-2	-67%	42	-7%	-26%
S7	12	-11	-92%	-9	-75%	4	-3	-75%	-3	-75%	32	-56%	-47%
S8	8	-7	-88%	-5	-63%	2	-2	-100%	-2	-100%	47	-21%	-38%
S9	5	-2	-40%	-2	-40%	1	0	0%	0	0%	46	-7%	-7%
S10	10	-8	-80%	-7	-70%	1	-1	-100%	-1	-100%	38	-8%	-24%
Moyenne	10,7	-8,6	-78%	-7,3	-67%	2,7	-2,2	-76%	-1,9	-70%	42,3	-40%	-36%

Tableau 5.31 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Critères liés à l'équilibrage de la charge de travail

	Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)		
	Coût fixe Heuristique V	Coût variable Heuristique V1	Coût variable Heuristique V2	Coût fixe Heuristique V	Coût variable Heuristique V1	Coût variable Heuristique V2	Coût fixe Heuristique V	Coût variable Heuristique V1	Coût variable Heuristique V2
S1	90	7%	0%	24	25%	0%	52	13%	0%
S2	96	-2%	14%	20	65%	65%	51	25%	6%
S3	102	13%	13%	23	0%	0%	52	33%	15%
S4	104	13%	0%	18	22%	0%	49	29%	6%
S5	101	5%	3%	21	5%	0%	52	15%	8%
S6	103	8%	8%	22	-9%	0%	52	13%	17%
S7	89	19%	6%	22	0%	0%	49	8%	4%
S8	106	15%	-6%	23	13%	0%	47	30%	2%
S9	92	42%	42%	20	0%	0%	49	31%	20%
S10	114	2%	2%	24	0%	0%	71	6%	7%
Moyenne	99,7	12%	8%	21,7	12%	7%	52,4	20%	9%

Nous observons les mêmes résultats que pour l'heuristique SJ. Le nombre de transferts, le nombre de transferts de nuit et le coût de transfert sont bien meilleurs avec un coût variable, mais les critères concernant l'équilibrage de la charge de travail sont moins bons. Cependant dans le cas de l'heuristique V2 qui met l'accent sur la charge de travail, les différences restent faibles (inférieures à 10%) par rapport au coût fixe. Les fonctions objectif sont plus faibles pour nos heuristiques avec un coût variable. Ainsi, dans le cadre de notre étude où nous cherchons plus particulièrement à réduire les transferts, l'utilisation d'un coût variable semble efficace. L'ensemble des résultats pour les autres critères sera présenté en Annexe I.

Enfin, nous avons comparé notre heuristique SJ et notre heuristique V avec un coût fixe. Si nous n'observons aucune dégradation de la fonction objectif, le nombre de transferts global et le nombre de transferts de nuit est légèrement plus important pour notre heuristique. Le coût de transfert est quant à lui meilleur pour 7 instances sur 10. L'équilibre de la charge de travail est meilleur ou équivalent pour les trois critères. Cependant, comme nous pouvons le voir en Annexe I, les infirmières isolées sont plus nombreuses avec notre heuristique même si nous avons ajouté un critère d'isolement. Ainsi, les résultats des tableaux précédents et ceux des Tableau 5.32 et Tableau 5.33 montrent que notre heuristique est bien plus performante en utilisant un coût variable, car c'est le critère qui a le plus d'impact et qui la différencie le plus de la méthode utilisée au CHU SJ.

Tableau 5.32 Comparaison de l'heuristique SJ et de l'heuristique V avec un coût fixe - Fonction objectif et critères liés aux transferts

	Fonction objectif		Nombre de transferts			Nombre de transferts de nuit			Coût moyen des transferts	
	Heuristique SJ	Heuristique V	Heuristique SJ	Heuristique V		Heuristique SJ	Heuristique V		Heuristique SJ	Heuristique V
S1	0,40	15%	7	+5	71%	1	+2	200%	38	11%
S2	0,45	0%	14	-1	-7%	2	-2	-100%	40	30%
S3	0,54	-9%	16	-1	-6%	3	+2	67%	50	-14%
S4	0,36	11%	6	+4	67%	2	+2	100%	31	26%
S5	0,43	0%	8	0	0%	5	-1	-20%	55	-24%
S6	0,47	-2%	13	+1	8%	5	-2	-40%	44	-5%
S7	0,46	-4%	14	-2	-14%	3	+1	33%	36	-11%
S8	0,44	0%	9	-1	-11%	2	0	0%	48	-2%
S9	0,48	-25%	7	-2	-29%	5	-4	-80%	71	-35%
S10	0,38	16%	9	+1	11%	2	-1	-50%	34	12%
Moyenne	0,44	0%	10,3	+0,4	9%	3,0	-0,3	11%	44,7	-1%

Tableau 5.33 Comparaison de l'heuristique SJ et de l'heuristique V avec un coût fixe - Fonction objectif et critères liés à la charge de travail

	Charge maximale		Charge minimale		Moyenne (Wmax-Wmin)	
	Heuristique SJ	Heuristique V	Heuristique SJ	Heuristique V	Heuristique SJ	Heuristique V
S1	90	0%	23	-17%	52	-4%
S2	94	0%	7	-186%	52	0%
S3	101	-3%	23	0%	56	-9%
S4	98	0%	27	0%	47	-2%
S5	97	-2%	21	0%	50	4%
S6	103	0%	22	0%	51	-6%
S7	88	1%	22	0%	48	0%
S8	94	6%	23	0%	48	0%
S9	122	-2%	20	0%	53	-4%
S10	114	0%	24	0%	72	-1%
Moyenne	100,1	0%	21,2	-20%	52,9	-2%

Selon les critères que nous avons choisis et la définition de notre fonction objectif, utiliser un coût variable plutôt qu'un coût fixe semble permettre d'obtenir de meilleures affectations notamment en ce qui concerne le nombre de transferts. C'est le critère le plus important dans la construction de notre heuristique, il serait donc intéressant à utiliser pour l'unité.

5.5.2 Aux anticipations des entrées et des sorties

Un deuxième ajout dans notre heuristique par rapport à la pratique courante est l'anticipation des entrées et des sorties sur le prochain quart. Comme pour la partie précédente, nous allons tester l'heuristique SJ avec l'anticipation puis les heuristiques V1 et V2 sans anticipation. En cherchant à prévoir la position des futurs patients qui arriveront et sortiront de l'unité, nous pouvons diminuer le nombre de transferts en plaçant les patients directement dans la même alcôve. Nous nous intéressons donc aux résultats de la fonction objectif et aux critères comptant le nombre de transferts. Le détail des autres critères sera donné en Annexe J.

Pour l'heuristique SJ, nous remarquons (Tableau 5.34) qu'anticiper les entrées et les sorties permet d'améliorer la fonction objectif pour la moitié des instances. Globalement, les affectations sont légèrement meilleures (diminution de la moyenne des fonctions objectifS). L'anticipation permet également de diminuer le nombre de transferts pour de nombreuses instances. De plus, comme

nous pouvons le voir en Annexe J, l'équilibrage de la charge de travail est même amélioré pour la quasi-totalité des instances. Les nombres d'infirmières isolées et de patients isolés se dégradent, néanmoins, fortement.

Tableau 5.34 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Critères liés aux transferts

	Fonction objectif		Nombre de transferts			Nombre de transferts de nuit		
	Sans anticipation	Avec anticipation	Sans anticipation	Avec anticipation		Sans anticipation	Avec anticipation	
S1	0,40	0%	7	+2	29%	1	-1	-100%
S2	0,45	-4%	14	-5	-36%	2	-2	-100%
S3	0,54	-11%	16	-6	-38%	3	0	0%
S4	0,36	3%	6	+1	17%	2	+1	50%
S5	0,43	9%	8	+1	13%	5	+1	20%
S6	0,47	6%	13	0	0%	5	-1	-20%
S7	0,46	-13%	14	-5	-36%	3	-1	-33%
S8	0,44	-11%	9	-1	-11%	2	-1	-50%
S9	0,48	-19%	7	-2	-29%	5	-4	-80%
S10	0,38	8%	9	-2	-22%	2	0	0%
Moyenne	0,44	-3%	10,3	-1,7	-11%	3,0	-0,8	-31%

Pour les heuristiques V1 et V2, le nombre de transferts est diminué pour de nombreuses instances (Tableau 5.36) avec anticipation. En moyenne, nous avons également moins de transferts notamment pour l'heuristique V2, car en mettant l'accent sur la charge de travail, il y a plus de transferts et donc plus de possibilités de les éviter en anticipant. Cependant, pour quelques semaines, nous observons que le nombre de transferts augmente. Cela s'explique, car nous réalisons parfois des anticipations non nécessaires pour le quart d'après et qui vont conduire à des transferts pour les quarts suivants. En Annexe J, nous remarquons que même si le nombre de transferts diminue, l'équilibrage de la charge de travail reste équivalent, voire meilleur. Cependant, nous pouvons noter que les critères du nombre des infirmières et de patients isolés se dégradent pour l'heuristique V2 et s'améliorent pour l'heuristique V1.

Tableau 5.35 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Fonction objectif

	Fonction objectif			
	V1 sans anticipation	V1 avec anticipation	V2 sans anticipation	V2 avec anticipation
S1	0,44	-17%	0,44	-24%
S2	0,38	-26%	0,40	-5%
S3	0,39	-23%	0,47	-4%
S4	0,37	-3%	0,41	-2%
S5	0,41	-34%	0,39	-31%
S6	0,39	0%	0,39	-5%
S7	0,39	-18%	0,39	-18%
S8	0,42	2%	0,40	-8%
S9	0,39	-8%	0,39	-8%
S10	0,37	5%	0,42	-14%
Moyenne	0,40	-12%	0,41	-12%

Tableau 5.36 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Nombre de transferts

	Nombre de transferts						Nombre de transferts de nuit								
	V1 sans anticipation		V1 avec anticipation		V2 sans anticipation		V2 avec anticipation		V1 sans anticipation		V1 avec anticipation		V2 sans anticipation		V2 avec anticipation
S1	1	0	0%	1	+2	200%	1	-1	-100%	1	-1	-100%	1	-1	-100%
S2	1	-1	-100%	7	-6	-86%	0	0	-	0	0	-	0	0	-
S3	1	0	0%	7	-1	-14%	0	+1	-	5	-2	-40%	5	-2	-40%
S4	4	+1	25%	7	0	0%	1	-1	-100%	3	-1	-33%	3	-1	-33%
S5	3	-3	-100%	6	-6	-100%	2	-2	-100%	3	-3	-100%	3	-3	-100%
S6	5	+2	40%	6	-1	-17%	0	+2	-	0	+1	-	0	+1	-
S7	3	-2	-67%	8	-5	-63%	1	0	0%	1	0	0%	1	0	0%
S8	4	-3	-75%	5	-2	-40%	2	-2	-100%	2	-2	-100%	2	-2	-100%
S9	2	+1	50%	2	+1	50%	1	0	0%	1	0	0%	1	0	0%
S10	1	+1	100%	7	-4	-57%	0	0	-	0	0	-	0	0	-
Moyenne	3	-0,4	-13%	6	-2,2	-13%	1	-0,3	-67%	2	-0,8	-53%	2	-0,8	-53%

Pour notre dernier test, nous allons comparer nos heuristiques sans ajout des anticipations avec l'heuristique SJ. Comme pour le cas général, la fonction objectif et le nombre de transferts s'améliorent (Tableau 5.37) mais l'équilibre de la charge de travail est moins bon de même que les

critères des infirmières et des patients isolés pour l'heuristique V1 (Tableau J.). Ces résultats sont intéressants, car ils nous permettent de vérifier la performance de notre heuristique en situation d'incertitude. En effet, comme l'explique Augustin [39], entre 2013 et 2015 au CHU Sainte-Justine, 75% des patients étaient des patients non électifs et donc non prévus aux SIP. Il est impossible d'anticiper les entrées pour mieux répartir les patients dans l'unité. Néanmoins, même sans possibilité d'anticipation notre heuristique reste plus performante, elle reste donc valide sur ce point par rapport à la réalité du terrain.

Tableau 5.37 Comparaison des heuristiques SJ et V sans anticipation - Fonction objectif et nombre de transferts

	Fonction objectif			Nombre de transferts					Nombre de transferts de nuit				
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique V1	Heuristique V2
S1	0,40	10%	10%	7	-6	-86%	-6	-86%	1	0	0%	0	0%
S2	0,45	-16%	-11%	14	-13	-93%	-7	-50%	2	-2	-100%	-2	-100%
S3	0,54	-28%	-13%	16	-15	-94%	-9	-56%	3	-3	-100%	+2	67%
S4	0,36	3%	14%	6	-2	-33%	+1	17%	2	-1	-50%	+1	50%
S5	0,43	-5%	-9%	8	-5	-63%	-2	-25%	5	-3	-60%	-2	-40%
S6	0,47	-17%	-17%	13	-8	-62%	-7	-54%	5	-5	-100%	-5	-100%
S7	0,46	-15%	-15%	14	-11	-79%	-6	-43%	3	-2	-67%	-2	-67%
S8	0,44	-5%	-9%	9	-5	-56%	-4	-44%	2	0	0%	0	0%
S9	0,48	-19%	-19%	7	-5	-71%	-5	-71%	5	-4	-80%	-4	-80%
S10	0,38	-3%	11%	9	-8	-89%	-2	-22%	2	-2	-100%	-2	-100%
Moyenne	0,44	-9%	-6%	10,3	-7,8	-72%	-4,7	-44%	3,0	-2,2	-66%	-1,4	-37%

L'anticipation permet d'éviter des transferts dans le cas de l'heuristique SJ et de notre heuristique V lorsque l'on compare les résultats avec et sans l'ajout de l'anticipation. Cependant, comme nous l'avons vu dans la partie précédente (Tableau 5.32), lorsque nous utilisons un coût fixe, cela n'est pas suffisant pour diminuer de manière importante le nombre de transferts.

5.5.3 Aux exigences des infirmières et des patients isolés

Dans cette partie, nous étudions l'impact de l'ajout, lors du choix d'une chambre, du critère d'isolement des patients et des infirmières. Nous comparerons les résultats des heuristiques sans et avec l'utilisation des fonctions permettant d'éviter de placer un patient ou une infirmière seul dans l'unité.

Pour l'heuristique SJ, nous obtenons les résultats Tableau 5.38. Nous remarquons que pour de nombreuses instances, le critère d'isolement permet de réduire le nombre de patients et d'infirmières isolés. Les fonctions objectifs varient pour certaines semaines, mais sont similaires en moyenne. Pour les critères de la charge de travail, nous remarquons que cet ajout ne modifie quasiment pas les résultats. Le nombre de transferts est quant à lui légèrement plus important (+10%). Le détail des valeurs est présenté en Annexe K.

Tableau 5.38 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement

	Fonction objectif		Nombre de patients isolés			Nombre d'infirmières isolées		
	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement		Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	
S1	0,40	-15%	11	-9	-82%	24	-21	-88%
S2	0,45	-2%	17	-5	-29%	19	-5	-26%
S3	0,54	-2%	21	0	0%	26	0	0%
S4	0,36	11%	5	-2	-40%	11	-4	-36%
S5	0,43	-2%	0	0	-	0	0	-
S6	0,47	-2%	8	0	0%	22	-2	-9%
S7	0,46	24%	11	+6	55%	28	-4	-14%
S8	0,44	-9%	2	0	0%	4	0	0%
S9	0,48	0%	0	0	-	10	0	0%
S10	0,38	0%	2	-2	-100%	2	-2	-100%
Moyenne	0,44	0,2%	7,7	-1,2	-25%	14,6	-3,8	-30%

Pour les heuristiques V1 et V2, nous comparons les résultats deux à deux, sans et avec le critère d'isolement. Les résultats sont donnés dans le Tableau 5.39. Encore une fois, nous remarquons que cet ajout permet de diminuer le nombre de patients et d'infirmières isolés et donc de diminuer la fonction objectif. Les autres critères varient également très peu (voir Annexe K).

Tableau 5.39 Comparaison des résultats des heuristique V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement – Fonction objectif

	Fonction objectif			
	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement	V2 sans isolement
S1	0,37	0%	0,34	0%
S2	0,28	0%	0,38	0%
S3	0,30	0%	0,45	0%
S4	0,38	-5%	0,40	0%
S5	0,27	0%	0,27	0%
S6	0,45	-13%	0,42	-12%
S7	0,35	-9%	0,40	-20%
S8	0,43	0%	0,42	-12%
S9	0,40	-10%	0,40	-10%
S10	0,39	0%	0,36	0%
Moyenne	0,36	-4%	0,38	-5%

Tableau 5.40 Comparaison des résultats des heuristique V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement – Infirmières et patients isolés

	Nombre de patients isolés						Nombre d'infirmières isolées					
	V1 avec isolement	V1 sans isolement		V2 avec isolement	V2 sans isolement		V1 avec isolement	V1 sans isolement		V2 avec isolement	V2 sans isolement	
S1	7	0	0%	4	0	0%	19	0	0%	20	0	0%
S2	20	0	0%	23	0	0%	24	0	0%	23	0	0%
S3	3	0	0%	14	0	0%	6	0	0%	20	0	0%
S4	8	-3	-38%	11	-8	-73%	11	-5	-45%	16	-11	-69%
S5	3	0	0%	3	0	0%	18	0	0%	18	0	0%
S6	18	-13	-72%	12	-4	-33%	45	-35	-78%	40	-25	-63%
S7	15	-9	-60%	15	-8	-53%	31	-21	-68%	40	-18	-45%
S8	5	0	0%	13	-7	-54%	25	0	0%	33	-22	-67%
S9	9	-6	-67%	9	-6	-67%	17	-14	-82%	17	-14	-82%
S10	9	-3	-33%	6	0	0%	19	-1	-5%	12	+3	25%
Moyenne	10	-3,4	-27%	11	-3,3	-28%	22	-7,6	-28%	24	-8,7	-30%

Enfin, lorsque nous comparons notre heuristique avec l'automatisation de la méthode utilisée aux SIP sans critère d'isolement, les résultats reflètent le constat général : le critère d'isolement n'influe

quasiment pas sur la qualité des affectations en termes de nombre de transferts et de charge de travail (voir Annexe K). Notre heuristique reste ainsi meilleure pour la fonction objectif même si elle est moins bonne pour les critères d'isolement (Tableau 5.41).

Tableau 5.41 Comparaison de l'heuristique SJ et des heuristiques V sans le critère d'isolement

	Fonction objectif			Nombre de patients isolés					Nombre d'infirmières isolées				
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2			Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2
S1	0,40	-9%	-16%	11	-4	-36%	-7	-64%	24	-5	-21%	-4	-17%
S2	0,45	-38%	-16%	17	+3	18%	+6	35%	19	+5	26%	+4	21%
S3	0,54	-44%	-17%	21	-18	-86%	-7	-33%	26	-20	-77%	-6	-23%
S4	0,36	6%	11%	5	+3	60%	+6	120%	11	0	0%	+5	45%
S5	0,43	-37%	-37%	0	+3	-	+3	-	0	+18	-	+18	-
S6	0,47	-4%	-11%	8	+10	125%	+4	50%	22	+23	105%	+18	82%
S7	0,46	-24%	-13%	11	+4	36%	+4	36%	28	+3	11%	+12	43%
S8	0,44	-2%	-5%	2	+3	150%	+11	550%	4	+21	525%	+29	725%
S9	0,48	-17%	-17%	0	+9	-	+9	-	10	+7	70%	+7	70%
S10	0,38	3%	-5%	2	+7	350%	+4	200%	2	+17	850%	+10	500%
Moyenne	0,44	-17%	-12%	7,7	+2,0	77%	+3,3	112%	14,6	+6,9	165%	+9,3	161%

Le critère d'isolement semble utile, car il permet de réduire le nombre de situations où une infirmière ou un patient est isolé dans l'unité dans le cas d'un nombre similaire de transferts. En effet, l'isolement est également relié aux transferts. Si des transferts ont lieu ou non, les chambres occupées ou disponibles changent et donc le placement des patients et les situations d'isolement changent également. C'est pourquoi il est difficile de comparer l'utilisation de ce critère sur des instances avec des nombres de transferts très différents. De plus, ce critère ne permet pas d'éviter tous les isolements car il n'utilise pas une vision globale de l'unité. Il reste, tout de même, très intéressant, car il ne modifie pas l'équilibre de la charge de travail et quasiment pas le nombre de transferts. C'est donc un aspect qui serait très intéressant à prendre en compte.

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans cette étude, nous avons dans un premier temps étudié la méthode d'affectation des patients réalisée au CHU SJ afin d'identifier des possibilités d'améliorations. En nous basant sur ces observations, nous avons proposé dans un deuxième temps deux méthodes alternatives pour affecter les patients. La première en programmation linéaire en nombres entiers a montré d'excellents résultats à la fois en termes de nombres de transferts, mais aussi d'équilibrage de la charge de travail. De plus, elle permettait de diminuer fortement le nombre de patients et d'infirmières isolés grâce à une vision globale de l'unité. Cependant, cette méthode présente, pour certains quarts, un temps de résolution trop important pour une utilisation opérationnelle. C'est pourquoi nous avons également proposé une deuxième méthode, une heuristique, qui s'inspire du fonctionnement des SIP pour réaliser l'affectation des patients mais en modifiant certains paramètres de choix. La méthode en programmation linéaire en nombres entiers nous permet alors d'évaluer son efficacité. Notre heuristique a montré des résultats prometteurs en permettant de diminuer l'impact des transferts à la fois en termes de nombres, mais aussi de coût. Néanmoins, cela s'accompagne d'un moins bon équilibre de la charge de travail par rapport à l'automatisation de la méthode utilisée par les AICs. L'heuristique que nous avons proposée se différencie notamment de la méthode de l'unité en cherchant à réévaluer les conditions de jumelages des patients et en ajoutant un coût de transfert variable, dépendant des caractéristiques du patient, plutôt qu'un coût fixe. En analysant la sensibilité de ces deux méthodes à l'ajout d'un coût variable, nous avons remarqué que c'était un atout majeur pour la qualité de nos affectations. En effet, c'est l'utilisation de ce critère qui permet d'avoir beaucoup moins de transferts et des transferts beaucoup moins lourds. Les autres ajouts dans notre heuristique sont l'anticipation des entrées et des sorties pour mieux placer nos patients et l'utilisation d'un critère d'isolement lors du choix des chambres. En anticipant, nous avons montré qu'il était possible de réduire le nombre de transferts à la fois pour l'automatisation de la méthode du CHU Sainte-Justine mais aussi pour notre heuristique. De plus, nous avons également remarqué que notre heuristique restait performante sans anticipation. C'est une observation importante dans le cadre de notre étude, car de nombreux patients admis aux SIP sont des patients urgents dont il est impossible de prévoir l'entrée. Enfin, nous avons noté qu'il était possible d'éviter des situations d'isolement des infirmières et des patients dans l'unité sans dégrader l'affectation finale que cela soit pour le nombre de transferts ou l'équilibrage de la charge de travail. Nous avons également remarqué que notre heuristique et notre modèle en

programmation linéaire en nombres entiers sont plus performants que la méthode utilisée au CHU Sainte-Justine même quand nous modifions celle-ci en réduisant fortement les transferts avec un coût de transfert fixe plus élevé²².

Notre approche de résolution de la problématique d'affectation des patients aux SIP possède cependant des limites. Tout d'abord, il existe certaines limites en lien avec nos hypothèses (Tableau 4.1). Nous avons par exemple supposé que l'unité ne serait jamais en débordement, c'est-à-dire qu'il est impossible d'avoir plus de 32 patients simultanément dans l'unité. Cette hypothèse est pertinente, car l'outil utilisé par les AICs (Figure 3.1) ne permet pas de gérer les débordements. Néanmoins, il faudrait revoir le modèle si nous souhaitions intégrer ces situations. De plus, nous avons également supposé qu'il était possible à la fois de connaître les dates d'entrées et de sorties des patients un quart à l'avance. Cependant, les soins intensifs sont une unité avec une importante variabilité. Des patients urgents peuvent être admis à tout moment et l'état de santé de certains patients peut également se dégrader rapidement. Ainsi, il est impossible de prévoir les entrées et les sorties de l'ensemble des patients. Sur deux quarts, l'impact de ces situations reste moins important que sur un horizon de planification plus long, mais il faut tout de même en tenir compte, car c'est une caractéristique majeure des SIP.

Puis, certaines limites sont liées à des difficultés rencontrées suite à la COVID19. En effet, nous n'avons pas pu nous rendre régulièrement dans l'unité en raison des mesures sanitaires renforcées. Nos observations de transferts ont donc été limitées de même que nos échanges avec les gestionnaires de l'unité. Ainsi, nous n'avons pas pu faire valider notre calcul du coût de transfert variable, à la fois pour les critères pris en compte, mais aussi leur poids. Notre interprétation des données et notamment des différences de Pelod2 et de Quanti2s pour les patients transférés sont aussi limitées d'un point de vue plus médical. Nous n'avons également pas pu confirmer notre automatisation de leur méthode. Même si nous avons une bonne connaissance du travail des AICs, certaines subtilités ont pu nous échapper. En effet, les AICs ne se basent pas uniquement sur des chiffres pour faire leurs affectations mais aussi sur leur connaissance des patients et de l'unité. Le facteur humain est donc très important même s'il est difficile à retranscrire. Enfin, l'ensemble des

²² En utilisant un coût fixe égal à 50, les résultats de la fonction objectifs sont supérieurs à ceux obtenus avec nos méthodes (voir Tableau D. et Tableau 5.22)

analyses de nos résultats est lié aux poids des critères que nous avons déterminés par la méthode AHP. Comme nous n'avons pas eu de retours de la part des SIP, nous n'avons pas pu faire valider nos choix lors de la construction de nos matrices de comparaison. De plus, nous n'avons pas pu confirmer à quel point l'accent devait être mis sur la diminution des transferts par rapport à l'équilibre de la charge de travail. Concernant les expérimentations réalisées et leur analyse, nous aurions pu éviter des effets de bords et réduire l'impact de la solution initiale pouvant privilégier certaines méthodes. Pour cela, plusieurs solutions initiales pour chaque instance auraient pu être testées et un plus long intervalle de résolution aurait pu être choisi en éliminant les premiers et les derniers quarts de la planification.

Malgré ces limites, nous pouvons imaginer des perspectives d'améliorations ou des suites à donner à cette étude. Tout d'abord, nous avons supposé que toutes les infirmières étaient équivalentes. Néanmoins, l'expérience et les spécialités sont propres à chacune d'entre elles et les AICs peuvent en tenir compte afin de faire correspondre les caractéristiques de l'infirmière avec les besoins du patient. Il faudrait alors ajouter à notre modèle une matrice de correspondance entre les patients et les infirmières. Cependant, nous ne disposons d'aucune information sur le personnel, nous ne pouvons donc pas intégrer ces paramètres lors de cette étude. Puis, il serait intéressant de se renseigner sur les préférences de placement dans les chambres en fonction des caractéristiques du patient plutôt que d'utiliser un taux d'occupation général. Il serait également intéressant de mener une étude plus approfondie avec les gestionnaires sur le coup de transfert afin d'en faire une mesure utilisable pour aider les AICs. Il faudrait alors calculer ce coût pour de véritables patients dans l'unité et le comparer avec la charge de travail réelle et ressentie du personnel. Enfin, nous pourrions par la suite tester nos différents modèles sur des situations réelles de l'unité et les comparer avec les véritables affectations proposées par les AICs. Cela nous permettrait alors d'ajuster et d'améliorer nos modèles en tenant compte des nouveaux résultats recueillis pour envisager par la suite une utilisation aux SIP.

RÉFÉRENCES

- [1] « Qui sommes-nous? : Sainte-Justine c'est... » <https://www.chusj.org/fr/A-propos-de-nous/Qui-sommes-nous> (consulté le mai 31, 2020).
- [2] « Volet agrandissement ». <https://www.chusj.org/fr/a-propos/modernisation-grandir-en-sante/Le-projet/Volet-agrandissement> (consulté le mai 31, 2020).
- [3] « Rapport annuel CHU Sainte-Justine 2018-2019 “Les grandes réalisations de l’année” ». Consulté le: mai 31, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.chusj.org/CORPO/files/a6/a6862e4a-7b4c-4918-b640-54418fb0549f.pdf>.
- [4] S. Cazabat, B. Barthe, et N. Cascino, « Charge de travail et stress professionnel : deux facettes d’une même réalité?. Étude exploratoire dans un service de gériatrie », *Perspect. Interdiscip. Sur Trav. Santé*, n° 10-1, Art. n° 10-1, mai 2008, doi: 10.4000/pistes.2159.
- [5] U. Beckmann, D. M. Gillies, S. M. Berenholtz, A. W. Wu, et P. Pronovost, « Incidents relating to the intra-hospital transfer of critically ill patients. An analysis of the reports submitted to the Australian Incident Monitoring Study in Intensive Care », *Intensive Care Med.*, vol. 30, n° 8, p. 1579-1585, août 2004, doi: 10.1007/s00134-004-2177-9.
- [6] C. Mullinax et M. Lawley, « Assigning patients to nurses in neonatal intensive care », *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 53, n° 1, p. 25-35, janv. 2002, doi: 10.1057/palgrave/jors/2601265.
- [7] P. Punnakitikashem, J. M. Rosenberger, et D. Buckley Behan, « Stochastic programming for nurse assignment », *Comput. Optim. Appl.*, vol. 40, n° 3, p. 321-349, juill. 2008, doi: 10.1007/s10589-007-9084-2.
- [8] P. Demeester, W. Souffriau, P. De Causmaecker, et G. Vanden Berghe, « A hybrid tabu search algorithm for automatically assigning patients to beds », *Artif. Intell. Med.*, vol. 48, n° 1, p. 61-70, janv. 2010, doi: 10.1016/j.artmed.2009.09.001.
- [9] J. M. H. Vissers, I. J. B. F. Adan, et N. P. Dellaert, « Developing a platform for comparison of hospital admission systems: An illustration », *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 180, n° 3, p. 1290-1301, août 2007, doi: 10.1016/j.ejor.2006.04.034.
- [10] R. Hall, « Bed Assignment and Bed Management », in *Handbook of Healthcare System Scheduling*, R. Hall, Éd. Boston, MA: Springer US, 2012, p. 177-200.
- [11] D. Conforti, R. Guido, G. Mirabelli, et V. Solina, *A decision support service for hospital bed assignment*. 2018.
- [12] R. Ben Bachouch, A. Guinet, et S. Hajri-Gabouj, « An integer linear model for hospital bed planning », *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 140, n° 2, p. 833-843, déc. 2012, doi: 10.1016/j.ijpe.2012.07.023.
- [13] B. G. Thomas *et al.*, « Automated Bed Assignments in a Complex and Dynamic Hospital Environment », *Interfaces*, vol. 43, n° 5, p. 435-448, oct. 2013, doi: 10.1287/inte.2013.0701.
- [14] R. Guido, M. C. Groccia, et D. Conforti, « An efficient matheuristic for offline patient-to-bed assignment problems », *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 268, n° 2, p. 486-503, juill. 2018, doi: 10.1016/j.ejor.2018.02.007.

- [15] S. Ceschia et A. Schaerf, « Modeling and solving the dynamic patient admission scheduling problem under uncertainty », *Artif. Intell. Med.*, vol. 56, n° 3, p. 199-205, nov. 2012, doi: 10.1016/j.artmed.2012.09.001.
- [16] W. Vancroonenburg, D. Causmaecker, et G. V. Berghe, « Patient-to-room assignment planning in a dynamic context », *Pract. Theory Autom. Timetabling*, p. 16, 2012.
- [17] S. Ceschia et A. Schaerf, « Local search and lower bounds for the patient admission scheduling problem », *Comput. Oper. Res.*, vol. 38, n° 10, p. 1452-1463, oct. 2011, doi: 10.1016/j.cor.2011.01.007.
- [18] M. Y. Sir, B. Dundar, L. M. Barker Steege, et K. S. Pasupathy, « Nurse-patient assignment models considering patient acuity metrics and nurses' perceived workload », *J. Biomed. Inform.*, vol. 55, p. 237-248, juin 2015, doi: 10.1016/j.jbi.2015.04.005.
- [19] C. Taramasco, R. Olivares, R. Munoz, R. Soto, M. Villar, et V. H. C. de Albuquerque, « The patient bed assignment problem solved by autonomous bat algorithm », *Appl. Soft Comput.*, vol. 81, p. 105484, août 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.105484.
- [20] S. B. Allen, « The Nurse-Patient Assignment: Purposes and Decision Factors », *JONA J. Nurs. Adm.*, vol. 45, n° 12, p. 628-635, déc. 2015, doi: 10.1097/NNA.0000000000000276.
- [21] R. Morris, P. MacNeela, A. Scott, P. Treacy, et A. Hyde, « Reconsidering the conceptualization of nursing workload: literature review », *J. Adv. Nurs.*, vol. 57, n° 5, p. 463-471, mars 2007, doi: 10.1111/j.1365-2648.2006.04134.x.
- [22] W. F. J. M. van den Oetelaar, H. F. van Stel, W. van Rhenen, R. K. Stellato, et W. Grolman, « Balancing nurses' workload in hospital wards: study protocol of developing a method to manage workload », *BMJ Open*, vol. 6, n° 11, p. e012148, nov. 2016, doi: 10.1136/bmjopen-2016-012148.
- [23] Hughes, « Nursing workload: an unquantifiable entity », *J. Nurs. Manag.*, vol. 7, n° 6, p. 317-322, nov. 1999, doi: 10.1046/j.1365-2834.1999.00148.x.
- [24] D. P. Debergh, D. Myny, I. Van Herzeele, G. Van Maele, D. R. Miranda, et F. Colardyn, « Measuring the nursing workload per shift in the ICU », *Intensive Care Med.*, vol. 38, n° 9, p. 1438-1444, sept. 2012, doi: 10.1007/s00134-012-2648-3.
- [25] P. Kiekkas, H. Brokalaki, E. Manolis, A. Samios, C. Skartsani, et G. Baltopoulos, « Patient severity as an indicator of nursing workload in the intensive care unit », p. 8, 2007.
- [26] L. M. Walts et A. S. Kapadia, « Patient Classification System: An Optimization Approach », *Health Care Manage. Rev.*, vol. 21, n° 4, p. 75, oct. 1996.
- [27] I. Acar et S. E. Butt, « Modeling nurse-patient assignments considering patient acuity and travel distance metrics », *J. Biomed. Inform.*, vol. 64, p. 192-206, déc. 2016, doi: 10.1016/j.jbi.2016.10.006.
- [28] Direction des soins infirmiers, CHU Sainte-Justine, « QUANTI²S, outil de quantification de l'intensité et de l'imprévisibilité du soin ». août 14, 2018.
- [29] P. Schaus, « Problème d'équilibre des charges de travail dans l'affectation de patients aux infirmières », p. 11.

- [30] N. Blay, M. A. Roche, C. Duffield, et R. Gallagher, « Intrahospital transfers and the impact on nursing workload », *J. Clin. Nurs.*, vol. 26, n° 23-24, p. 4822-4829, déc. 2017, doi: 10.1111/jocn.13838.
- [31] N. Blay, C. M. Duffield, R. Gallagher, et M. Roche, « A systematic review of time studies to assess the impact of patient transfers on nurse workload », *Int. J. Nurs. Pract.*, vol. 20, n° 6, p. 662-673, déc. 2014, doi: 10.1111/ijn.12290.
- [32] N. Blay, « The Impact of Patient Transfers and Bedspace Moves On Nurse Workload », p. 320.
- [33] A. L. Hendrich et L. Nelson, « Intra-Unit Patient Transports: Time, Motion, and Cost Impact On Hospital Efficiency », *Nurs. Econ.*, vol. 23, n° 4, p. 157-64, 147, 2005.
- [34] J. Webster, H. Davies, M. Stankiewicz, et L. C. Fleming, « Estimating the Time Involved in Managing the 'Unoccupied Bed:' A Time and Motion Study », *Nurs. Econ.*, vol. 29, n° 6, p. 8.
- [35] M. Abbey, W. Chaboyer, et M. Mitchell, « Understanding the work of intensive care nurses: A time and motion study », *Aust. Crit. Care*, vol. 25, n° 1, p. 13-22, févr. 2012, doi: 10.1016/j.aucc.2011.08.002.
- [36] C. Mahmoudi, « Analyse du tableau numérique de visualisation et de gestion des lits du service des soins intensifs du CHU Sainte-Justine », août 2019.
- [37] « Présentation de l'unité des soins intensifs pédiatriques ». <https://www.chusj.org/fr/soins-services/S/Soins-intensifs/Presentation-de-l-unite> (consulté le oct. 06, 2020).
- [38] Fédération interprofessionnelle de la santé du Québec, *Abrégé de prévention des infections pratiques de base, précautions additionnelles*, Montréal, 2014
- [39] A. Augustin, « Ordonnancement de bloc opératoire avec intégration des soins intensifs », p. 92.

ANNEXE A EXTRAIT DU TABLEAU DES PATIENTS ET DES CHAMBRES

Tableau A.1 Tableau des patients dans les chambres quart par quart

numéro du quart	date	quart	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
49	17/11/2018	N	50	604	587	598	381	559	97	307	0	0	0	0	0	563	454	464	175	0	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
50	17/11/2018	J	464	604	587	598	381	559	97	307	0	0	0	0	0	563	454	0	175	0	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
51	17/11/2018	S	464	604	587	598	381	559	97	307	0	0	0	0	0	563	0	454	175	0	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
52	18/11/2018	N	464	604	587	598	381	559	97	307	0	0	0	0	0	563	0	454	175	0	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
53	18/11/2018	J	0	0	587	598	381	559	97	307	0	0	0	0	0	0	0	454	563	0	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
54	18/11/2018	S	0	0	587	598	381	559	97	307	0	0	0	0	0	0	0	607	454	563	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
55	19/11/2018	N	0	0	587	598	381	559	97	307	104	0	0	0	0	0	0	607	454	563	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
56	19/11/2018	J	0	0	587	598	381	559	0	307	104	612	0	0	0	0	0	607	454	398	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
57	19/11/2018	S	0	0	587	598	381	559	0	307	104	612	0	0	0	0	0	607	454	398	0	0	0	0	0	333	480	568	150	0	0	0	0	
58	20/11/2018	N	0	0	587	598	381	559	104	307	0	612	0	0	0	0	0	607	0	398	0	0	0	0	0	333	480	568	150	609	454	0	0	
59	20/11/2018	J	0	0	587	598	381	559	104	307	0	612	0	0	0	0	0	607	551	398	0	0	0	0	0	333	480	568	150	609	454	0	0	
60	20/11/2018	S	0	0	587	598	615	559	104	0	0	612	0	0	0	0	0	607	551	398	0	0	0	0	0	333	480	568	0	609	454	0	0	
61	21/11/2018	N	0	0	587	598	615	559	104	0	0	612	0	0	0	0	0	607	551	398	0	0	0	0	0	333	480	568	0	609	454	0	0	
62	21/11/2018	J	0	0	587	598	615	559	104	213	0	612	0	0	0	0	600	607	551	398	0	0	0	0	0	333	480	568	609	0	454	0	0	
63	21/11/2018	S	0	0	587	598	615	559	104	213	0	612	0	0	0	0	600	607	551	398	0	0	0	0	0	616	480	568	609	0	454	0	0	
64	22/11/2018	N	0	0	587	598	615	559	104	213	0	612	0	0	0	0	600	607	551	398	0	0	0	0	0	616	480	568	609	0	454	0	0	
65	22/11/2018	J	0	0	229	598	615	559	104	612	0	0	0	0	0	0	600	607	551	440	0	0	0	476	321	0	616	480	568	609	0	0	0	0
66	22/11/2018	S	616	486	229	598	0	0	104	551	0	0	0	0	612	440	600	607	0	0	0	0	0	476	321	0	568	480	615	609	0	0	0	0

ANNEXE B SOMME DES CARRÉS DES RÉSIDUS DES DIFFÉRENTES LOIS TESTÉES POUR REPRÉSENTER LES ENTRÉES ET LES SORTIES

Tableau B.1 Calcul de la SCR entre les 4 meilleures lois et les données du CHU Sainte-Justine pour le nombre de patients par quart

	SCR
Loi log-gamma	0,0008
Loi de Student	0,0026
Loi normale	0,0050
Loi log-normale	0,0075

Tableau B.2 Calcul de la SCR entre les 4 meilleures lois et les données du CHU Sainte-Justine pour le nombre d'entrées et de sorties par quart

	Entrées			Sorties			Moyenne
	J	S	N	J	S	N	
Loi normale	0,0193	0,0143	0,0334	0,0177	0,0073	0,0244	0,0194
Loi log-gamma	0,0199	0,0145	0,0333	0,0181	0,0072	0,0324	0,0209
Loi inverse-gamma	0,0041	0,0213	$1,724 \cdot 10^{34}$	0,0042	0,0035	$4,617 \cdot 10^{42}$	SCR>0,10
Loi log-normale	0,0148	$4,443 \cdot 10^{31}$	$3,030 \cdot 10^{17}$	$1,459 \cdot 10^{17}$	0,0034	$3,885 \cdot 10^{15}$	SCR>0,10

Nous présentons ci-dessous les graphiques de comparaison entre les lois de probabilités choisies et les données du CHU Sainte-Justine. Pour certains d'entre eux, les lois avec un SCR > 0,10 ne sont pas représentées pour éviter les problèmes d'échelle.

Quart de jour

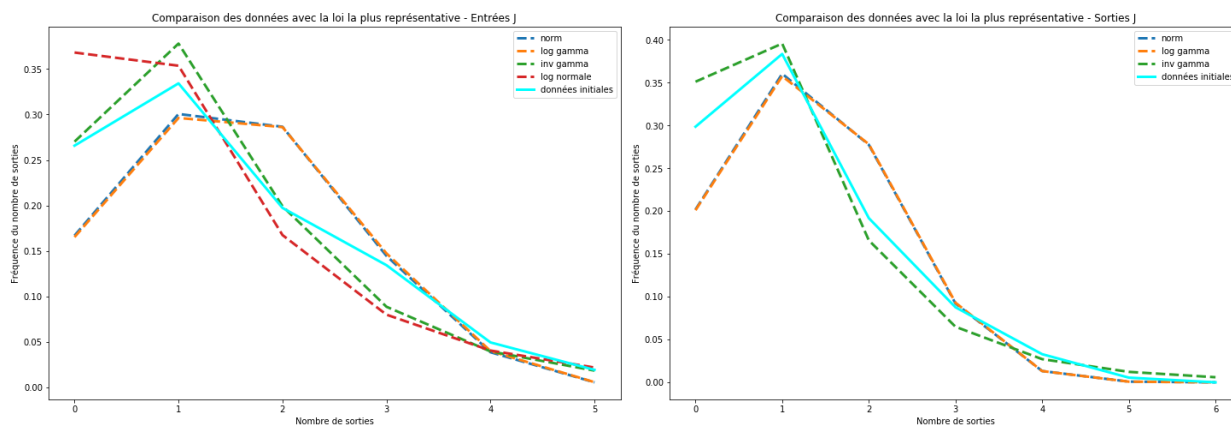


Figure B.1 Comparaison des données CHU Sainte-Justine avec les lois les plus représentatives pour le nombre d'entrées et de sorties au quart de jour

Quart de soir

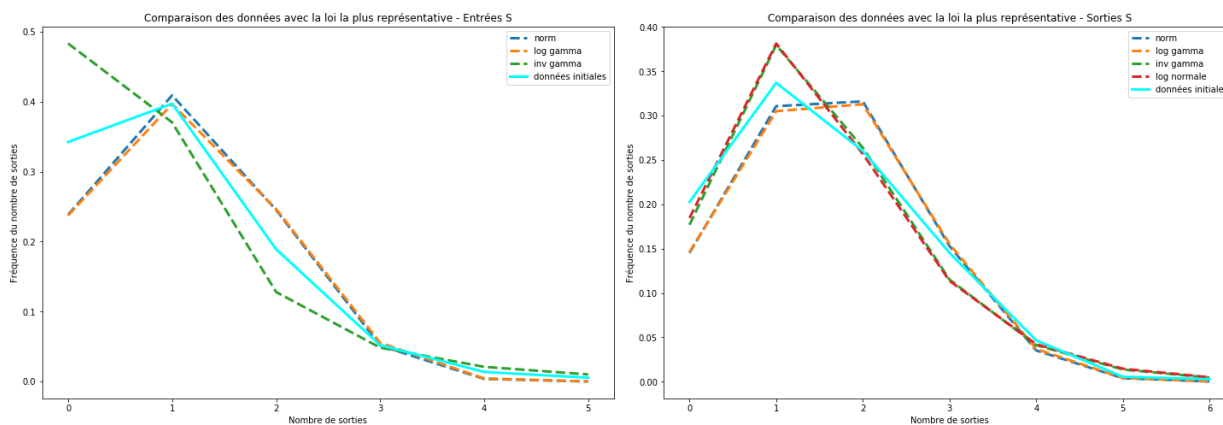


Figure B.2 Comparaison des données CHU Sainte-Justine avec les lois les plus représentatives pour le nombre d'entrées et de sorties au quart de soir

Quart de nuit

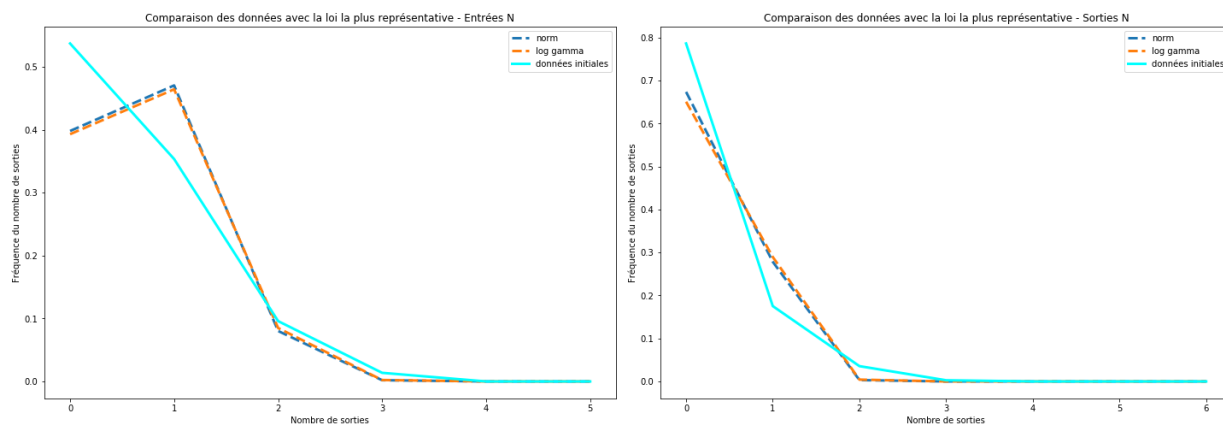


Figure B.3 Comparaison des données CHU Sainte-Justine avec les lois les plus représentatives pour le nombre d'entrées et de sorties au quart de nuit

ANNEXE C TABLEAUX DE LA MÉTHODE AHP

Matrices de comparaison, poids calculés et ratio de cohérence

Tableau C.1 Matrice de comparaison entre les deux sous-problèmes²³

	Affectation des patients aux lits	Affectation des patients aux chambres	Poids du critère
Affectation des patients aux lits	1	1	50%
Affectation des patients aux chambres	1	1	50%

Tableau C.2 Matrice de comparaison pour l'affectation des patients aux infirmières

	Equilibre de la charge de travail	Nombre d'infirmières isolées	Poids du critère
Equilibre de la charge de travail	1	5	83,3%
Nombre d'infirmières isolées	0,20	1	16,7%

Tableau C.3 Matrice de cohérence pour le critère d'équilibrage de la charge de travail
(RC=0,79%)

	Charge maximale	Charge minimale	Moyenne (Wmin-Wmax)	Poids du critère
Charge maximale	1	2	0,5	29,7%
Charge minimale	0,5	1	0,3	16,4%
Moyenne (Wmin-Wmax)	2	3	1	53,9%

²³ Les matrices 2x2 sont forcément cohérente, nous ne calculons donc pas de ratio.

ANNEXE D COMPARAISON DES RÉSULTATS POUR LES DIFFÉRENTS COÛTS DE TRANSFERT

Tableau D.1 Fonction objectif selon le coût de transfert

Fonction objectif	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Coût de transfert =50	0,36	0,42	0,47	0,34	0,34	0,37	0,40	0,44	0,44	0,46	0,40
Coût de transfert = 20	0,40	0,45	0,54	0,36	0,43	0,47	0,46	0,44	0,48	0,38	0,44
Coût de transfert = 0	0,61	0,53	0,58	0,62	0,54	0,52	0,56	0,61	0,51	0,65	0,57

Tableau D.2 Charge maximale selon le coût de transfert

Charge maximale	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Coût de transfert =50	94	109	113	106	106	123	110	122	125	116	112,40
Coût de transfert = 20	90	94	101	98	97	103	88	94	122	114	100,10
Coût de transfert = 0	100	98	98	104	94	103	85	100	122	114	101,80

Tableau D.3 Charge minimale selon le coût de transfert

Charge minimale	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Coût de transfert =50	24	7	23	14	20	20	22	20	20	24	19,40
Coût de transfert = 20	23	7	23	27	21	22	22	23	20	24	21,20
Coût de transfert = 0	26	7	23	27	21	22	22	23	20	21	21,20

Tableau D.4 Écart moyen entre la charge maximale et la charge minimale selon le coût de
transfert

Moyenne charge _{max} -charge _{min}	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Moyenne
Coût de transfert =50	57	62	64	64	64	63	54	57	60	76	62,11
Coût de transfert = 20	52	52	56	47	50	51	48	48	53	72	52,90
Coût de transfert = 0	46	51	50	48	46	47	44	41	50	69	49,20

Tableau D.5 Comparaison des résultats pour le critère du coût de transfert

	Fonction objectif			Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)		
	CT=20	CT=50	CT=0	CT=20	CT=50	CT=0	CT=20	CT=50	CT=0	CT=20	CT=50	CT=0
S1	0,40	-10%	53%	90	16%	4%	23	-4%	-13%	52	10%	-12%
S2	0,45	-7%	18%	94	16%	4%	7	0%	0%	52	19%	-2%
S3	0,54	-13%	7%	101	12%	-3%	23	0%	0%	56	14%	-11%
S4	0,36	-6%	72%	98	8%	6%	27	48%	0%	47	36%	2%
S5	0,43	-21%	26%	97	9%	-3%	21	5%	0%	50	28%	-8%
S6	0,47	-21%	11%	103	19%	0%	22	9%	0%	51	24%	-8%
S7	0,46	-13%	22%	88	25%	-3%	22	0%	0%	48	13%	-8%
S8	0,44	0%	39%	94	30%	6%	23	13%	0%	48	19%	-15%
S9	0,48	-8%	6%	122	2%	0%	20	0%	0%	53	13%	-6%
S10	0,38	21%	71%	114	2%	0%	24	0%	13%	72	6%	-4%
Moyenne	0,44	-8%	32%	100,1	14%	1%	21,2	7%	0%	52,9	18%	-7%

	Nombre de transferts					Nombre de transferts de nuit					Coût moyen des transferts		
	CT=20	CT=50		CT=0		CT=20	CT=50		CT=0		CT=20	CT=50	CT=0
S1	7	-2	-29%	+27	386%	1	-1	-100%	+5	500%	38	-28%	37%
S2	14	-10	-71%	+9	64%	2	-1	-50%	+1	50%	40	-28%	18%
S3	16	-9	-56%	+3	19%	3	-1	-33%	+5	167%	50	-24%	0%
S4	6	-4	-67%	+32	533%	2	-1	-50%	+9	450%	31	-61%	61%
S5	8	-4	-50%	+13	163%	5	-4	-80%	+8	160%	55	-60%	-5%
S6	13	-11	-85%	+13	100%	5	-5	-100%	+2	40%	44	-34%	9%
S7	14	-9	-64%	+16	114%	3	-1	-33%	+2	67%	36	-19%	11%
S8	9	-6	-67%	+19	211%	2	-1	-50%	+5	250%	48	-13%	15%
S9	7	-3	-43%	+14	200%	5	-2	-40%	+5	100%	71	-27%	-28%
S10	9	-4	-44%	+17	189%	2	-2	-100%	+10	500%	34	47%	53%
Moyenne	10,3	-6,2	-58%	+16,3	198%	3,0	-1,9	-64%	+5,2	228%	44,7	-25%	17%

Tableau D.5 Comparaison des résultats pour le critère du coût de transfert Heuristique SJ (suite et fin)

	Nombre de patients isolés					Nombre d'infirmières isolées					Nombre de patients avec plusieurs transferts				
	CT=20	CT=50		CT=0		CT=20	CT=50		CT=0		CT=20	CT=50		CT=0	
S1	11	-1	-9%	-2	-18%	24	-6	-25%	-1	-4%	1	0	0%	+4	400%
S2	17	-4	-24%	-7	-41%	19	+7	37%	+9	47%	1	-1	-100%	+3	300%
S3	21	-4	-19%	-7	-33%	26	-3	-12%	-6	-23%	1	-1	-100%	+1	100%
S4	5	+4	80%	-1	-20%	11	0	0%	+15	136%	0	0	-	+8	-
S5	0	+3	-	+5	-	0	+3	-	+14	-	0	+1	-	+5	-
S6	8	+3	38%	-3	-38%	22	-2	-9%	-13	-59%	3	-3	-100%	+3	100%
S7	11	+1	9%	+10	91%	28	-13	-46%	-1	-4%	2	-2	-100%	+6	300%
S8	2	0	0%	+17	850%	4	+5	125%	+17	425%	2	-1	-50%	+5	250%
S9	0	0	-	+2	-	10	+15	150%	+1	10%	1	-1	-100%	+4	400%
S10	2	+16	800%	+16	800%	2	+17	850%	+37	1850%	0	0	-	+3	-
Moyenne	7,7	+1,8	109%	+3,0	199%	14,6	+2,3	119%	+7,2	264%	1,1	-0,8	-79%	+4,2	264%

ANNEXE E DÉTAILS DES CÔTES POUR LES CRITÈRES DU QUANTI²S CHOISIS DANS LA CONSTRUCTION DU COÛT VARIABLE

Tableau E.1 Côtes du formulaire Quanti²s pour l'indicateur d'oxygénation et de ventilation [28]

Valeur	Critères à respecter
10	Intubé ou trachéo sous ventilation continue
8	BPAP / CPAP sans sevrage
6	BPAP / CPAP avec sevrage 2-4h / quart
5	BPAP / CPAP avec sevrage >4h
5	LNHD / Masque avec réservoir / Trachéo
3	LN conventionnel / Venti-masque
0	Aucune oxygénation

Tableau E.2 Côtes du formulaire Quanti²s pour l'indicateur de mouvement de patient et de soins requis
[28]

Valeur	Critères à respecter
25	Sortie / examen de plus de 120 min
18	Sortie / examen entre 60 et 120 min
9	Sortie / examen entre 30 à 60 min.
3	Sortie / examen de moins de 30 min
0	Aucune sortie / examen

Tableau E.3 Cotes du formulaire Quanti²s pour le critère d'imprévisibilité [14]

Valeur	Critères à respecter
6	Risque élevé
4	Risque modéré
2	Risque faible
0	Aucun risque additionnel à sa condition

Tableau E.4 Cotes du formulaire Quanti²s pour le critère du stade de développement [14]

Valeur	Critères à respecter
2	Bébé 0-5 mois
3	Bébé 6-12 mois
4	Trottineur / âge scolaire (13 mois à 4 ans)
2	Âge scolaire (5 à 8 ans)
1	Pré-ado / adolescent (9 à 18 ans)
1	Clientèle adulte

Tableau E.5 Cotes ajustées pour le critère de l'isolement [14]

Valeur	Critères à respecter
6	Isolement de type contact +
6	Isolement de type contact +
4	Isolement de type gouttelettes contact
4	Isolement de type gouttelettes
3	Isolement de type aérien
2	Isolement préventif
0	Aucun isolement

Tableau E.6 Côtés pour le critère de la catégorie du Quanti²s

Valeur	Critères à respecter
4	$81 \leq \text{Quanti}^2\text{s}$
3	$56 \leq \text{Quanti}^2\text{s} \leq 80$
2	$55 \leq \text{Quanti}^2\text{s} \leq 32$
1	$\text{Quanti}^2\text{s} \leq 31$

ANNEXE F COMPARAISON DES RÉSULTATS POUR LE CRITÈRE DE LA VARIATION MINIMALE DE LA CHARGE DE TRAVAIL

Tableau F.1 Comparaison des résultats pour le critère de variation minimale

	Fonction objectif			Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)		
	CV=20	CV=50	CV=0	CV=20	CV=50	CV=0	CV=20	CV=50	CV=0	CV=20	CV=50	CV=0
S1	0,42	0%	2%	111	0%	-5%	27	0%	15%	51	0%	-2%
S2	0,43	0%	23%	99	0%	-5%	7	0%	0%	53	0%	-4%
S3	0,55	0%	-11%	112	0%	-5%	23	0%	-9%	60	0%	-18%
S4	0,45	0%	2%	104	0%	-4%	27	0%	0%	54	0%	-15%
S5	0,40	0%	18%	107	0%	0%	23	0%	0%	57	0%	-9%
S6	0,45	0%	-9%	119	0%	-8%	22	0%	0%	55	0%	-11%
S7	0,47	0%	2%	91	24%	-2%	22	-14%	0%	47	13%	-6%
S8	0,42	0%	2%	106	0%	0%	20	0%	0%	50	0%	-6%
S9	0,48	-17%	-17%	122	0%	-22%	20	0%	0%	53	-2%	-4%
S10	0,38	-16%	-16%	114	0%	0%	24	13%	13%	72	-3%	-3%
Moyenne	0,45	-3%	0%	108,5	2%	-5%	21,5	-0,1%	2%	55,2	1%	-8%

	Nombre de transferts					Nombre de transferts de nuit					Coût moyen des transferts		
	CV=20	CV=50		CV=0		CV=20	CV=50		CV=0		CV=20	CV=50	CV=0
S1	9	0	0%	+3	33%	0	0	-	+1	-	49	0%	-8%
S2	8	0	0%	+9	113%	0	0	-	+6	-	34	0%	0%
S3	14	0	0%	0	0%	3	0	0%	0	0%	51	0%	-4%
S4	10	0	0%	+5	50%	2	0	0%	0	0%	42	0%	10%
S5	9	0	0%	+3	33%	3	0	0%	+3	100%	30	0%	23%
S6	10	0	0%	+1	10%	3	0	0%	0	0%	41	0%	7%
S7	16	-3	-19%	+1	6%	4	-1	-25%	+3	75%	43	-26%	-5%
S8	7	0	0%	+5	71%	3	0	0%	+2	67%	39	0%	-10%
S9	7	+1	14%	+3	43%	5	-2	-40%	-1	-20%	71	-27%	-25%
S10	9	0	0%	0	0%	2	0	0%	0	0%	34	15%	15%
Moyenne	9,9	-0,2	0%	+3,0	36%	2,5	-0,3	-8%	+1,4	28%	43,4	-4%	0%

Tableau F.1 Comparaison des résultats pour le critère de variation minimale (suite et fin)

	Nombre de patients isolés					Nombre d'infirmières isolées					Nombre de patients avec plusieurs transferts				
	CV=20	CV=50		CV=0		CV=20	CV=50		CV=0		CV=20	CV=50		CV=0	
S1	7	0	0%	+4	57%	12	0	0%	+5	42%	0	0	-	+1	-
S2	17	0	0%	-2	-12%	34	0	0%	+1	3%	0	0	-	+2	-
S3	19	0	0%	-11	-58%	25	0	0%	-3	-12%	0	0	-	+1	-
S4	9	0	0%	0	0%	20	0	0%	-3	-15%	1	0	0%	+2	200%
S5	1	0	0%	+8	800%	18	0	0%	+13	72%	2	0	0%	0	0%
S6	12	0	0%	-9	-75%	21	0	0%	-14	-67%	3	0	0%	+1	33%
S7	9	+6	67%	0	0%	10	+12	120%	+1	10%	3	0	0%	0	0%
S8	0	0	-	0	-	4	0	0%	0	0%	2	0	0%	+1	50%
S9	0	0	-	0	-	10	-4	-40%	-4	-40%	1	0	0%	+1	100%
S10	2	+6	300%	0	300%	2	+7	350%	+7	350%	0	+2	-	+2	-
Moyenne	7,6	+1,2	46%	-1,0	127%	15,6	+1,5	43%	+0,3	34%	1,2	+0,2	0%	+1,1	64%

ANNEXE G RÉSULTATS DES AUTRES CRITÈRES DE COMPARAISON DE NOS MÉTHODES

Tableau G.1 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Critères d'isolement

	Nombre de patients isolés							Nombre d'infirmières isolées						
	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		PLNE		Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		PLNE	
S1	11	-4	-36%	-7	-64%	-11	-100%	24	-5	-21%	-4	-17%	-18	-23%
S2	17	+3	18%	+6	35%	-17	-100%	19	+5	26%	+4	21%	-2	-11%
S3	21	-18	-86%	-7	-33%	-21	-100%	26	-20	-77%	-6	-23%	-19	-73%
S4	5	0	0%	-2	-40%	-5	-100%	11	-5	-45%	-6	-55%	-11	-100%
S5	0	+3	-	+3	-	0	-	0	+18	-	+18	-	+11	-
S6	8	-3	-38%	0	0%	-8	-100%	22	-12	-55%	-7	-32%	-14	-64%
S7	11	-5	-45%	-4	-36%	-6	-55%	28	-18	-64%	-6	-21%	-14	-50%
S8	2	+3	150%	+4	200%	-2	-100%	4	+21	525%	+7	175%	+9	225%
S9	0	+3	-	+3	-	0	-	10	-7	-70%	-7	-70%	-10	-100%
S10	2	+4	200%	+4	200%	-1	-50%	2	+16	800%	+13	650%	+3	150%
Moyenne	7,7	-1,4	20%	0	33%	-7,1	-88%	14,60	-0,7	113%	+0,6	70%	-6,5	-5%

Tableau G.2 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Critères des patients transférés

	Nombre de patients avec plusieurs transferts						
	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		PLNE	
S1	1	-1	-100%	-1	-100%	-1	-100%
S2	1	-1	-100%	-1	-100%	-1	-100%
S3	1	-1	-100%	-1	-100%	-1	-100%

Tableau G.2 Comparaison des résultats de nos différentes méthodes - Critères des patients transférés (suite fin)

Nombre de patients avec plusieurs transferts							
	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		PLNE	
S4	0	+1	-	-1	-	0	-
S5	0	0	-	-1	-	0	-
S6	3	-2	-67%	-1	-67%	-3	-100%
S7	2	-2	-100%	0	-100%	-2	-100%
S8	2	-2	-100%	0	-100%	-2	-100%
S9	1	-1	-100%	-2	-100%	-1	-100%
S10	0	0	-	-2	-	0	-
Moyenne	1,10	-0,9	-95%	-2	-95%	-1,1	-100%

ANNEXE H TEMPS D'EXECUTION ET GAP OBSERVÉS LORS DE LA RÉOLUTION DU MODÈLE EN PROGRAMMATION LINÉAIRE EN NOMBRES ENTIERS

Le temps d'exécution maximal est fixé à 1800 secondes.

Tableau H.1 Temps d'exécution du modèle en programmation linéaire en nombres entiers exprimé en secondes pour chaque quart des
10 instances

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1	43	86	1800	1801	53	1808	48	1800	69	95
2	35	52	1800	118	22	1801	30	1800	71	86
3	172	53	1800	85	23	1801	33	1800	38	77
4	1800	1800	1802	77	38	1023	1801	1800	35	122
5	38	126	1802	57	1801	468	49	34	31	110
6	1801	51	1800	48	60	380	34	139	37	141
7	1801	68	1800	64	35	241	1800	93	28	1801
8	63	69	106	66	367	171	41	191	32	158
9	1800	79	1800	69	86	202	56	1801	23	133
10	60	1802	1800	69	27	290	49	1801	38	1801
11	59	75	73	58	27	145	35	107	1800	349
12	101	75	43	54	1801	1800	38	112	41	433
13	1803	189	1800	194	74	287	36	131	34	301
14	516	100	50	155	45	264	1801	101	24	239
15	1800	74	85	1801	53	225	60	96	87	165
16	141	103	107	1802	83	166	1803	82	61	248
17	1808	192	1801	314	112	1801	44	1800	53	109
18	104	167	137	1800	48	1800	30	389	58	178
19	66	89	68	1801	1801	1801	47	333	1803	201
20-21	54	59	67	239	76	1813	38	540	1801	1801
Moyenne	703	266	1027	534	332	914	394	748	308	427

Lorsque l'optimalité est atteinte, le gap est de 0%. Nous remarquons que pour les quarts où le gap est non nul, nous restons fixés à la même valeur pour la meilleure solution. Le gap diminue très doucement et a du mal à être comblé.

Tableau H.2 Gap observé lors de la résolution du modèle en programmation linéaire en nombres entiers pour chaque quart des 10 instances

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
1	0%	0%	23%	5%	0%	38%	0%	25%	0%	0%	
2	0%	0%	60%	0%	0%	27%	0%	64%	0%	0%	
3	0%	0%	54%	0%	0%	38%	0%	51%	0%	0%	
4	23%	28%	44%	0%	0%	0%	69%	41%	0%	0%	
5	0%	0%	37%	0%	37%	0%	0%	0%	0%	0%	
6	28%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
7	10%	0%	44%	0%	0%	0%	46%	0%	0%	23%	
8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
9	9%	0%	24%	0%	0%	0%	0%	58%	0%	0%	
10	0%	19%	52%	0%	0%	0%	0%	31%	0%	25%	
11	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	0%	
12	0%	0%	0%	0%	27%	19%	0%	0%	0%	0%	
13	34%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
14	0%	0%	0%	0%	0%	0%	38%	0%	0%	0%	
15	6%	0%	0%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
16	0%	0%	0%	34%	0%	0%	29%	0%	0%	0%	
17	17%	0%	29%	0%	0%	14%	0%	29%	0%	0%	
18	0%	0%	0%	16%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	
19	0%	0%	0%	33%	28%	17%	0%	0%	25%	0%	
20-21	0%	0%	0%	0%	0%	46%	0%	0%	39%	41%	
Moyenne	6%	2%	19%	5%	5%	10%	9%	15%	4%	4%	
Nombre de quarts où l'optimalité n'est pas atteinte	7	2	11	5	3	8	4	7	3	3	Moyenne 5,3

ANNEXE I COMPARAISON DES RÉSULTATS DES HEURISTIQUES POUR UN COÛT DE TRANSFERT FIXE VERSUS VARIABLE

Tableau I.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec un coût de transfert fixe versus variable – Autres critères

	Nombre de patients isolés					Nombre d'infirmières isolées					Nombre de patients avec plusieurs transferts				
	Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2	
S1	11	-4	-36%	0	0%	24	-8	-33%	-4	-17%	1	+1	100%	-1	-100%
S2	17	+3	18%	-2	-12%	19	+8	42%	+6	32%	1	-1	-100%	-1	-100%
S3	21	-16	-76%	-9	-43%	26	-15	-58%	-2	-8%	1	-1	-100%	-1	-100%
S4	5	0	0%	0	0%	11	-3	-27%	-1	-9%	0	+5	-	0	-
S5	0	+6	-	+3	-	0	+6	-	+3	-	0	0	-	0	-
S6	8	+3	38%	+2	25%	22	-1	-5%	-3	-14%	3	-3	-100%	-3	-100%
S7	11	+8	73%	+18	164%	28	-6	-21%	-5	-18%	2	-2	-100%	0	0%
S8	2	+15	750%	+13	650%	4	+23	575%	+23	575%	2	-1	-50%	-1	-50%
S9	0	0	-	+1	-	10	+5	50%	+10	100%	1	+1	100%	-1	-100%
S10	2	+17	850%	+25	1250%	2	+18	900%	+27	1350%	0	0	-	0	-
Moyenne	7,7	+3,2	202%	+5,1	254%	14,6	+2,7	158%	+5,4	221%	1,1	-0,1	-36%	-0,8	-79%

Tableau I.2 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Autres critères

	Nombre de patients isolés					Nombre d'infirmières isolées					Nombre de patients avec plusieurs transferts				
	Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2	
S1	3	+4	133%	+1	33%	26	-7	-27%	-6	-23%	1	-1	-100%	-1	-100%
S2	19	+1	5%	+4	21%	35	-11	-31%	-12	-34%	0	0	-	0	-

Tableau I.2 Comparaison des résultats de l'heuristique V avec un coût de transfert fixe versus variable – Autres critères (suite et fin)

	Nombre de patients isolés					Nombre d'infirmières isolées					Nombre de patients avec plusieurs transferts				
	Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2		Coût fixe	Coût variable V1		Coût variable V2	
S3	12	-9	-75%	+2	17%	16	-10	-63%	+4	25%	1	-1	-100%	-1	-100%
S4	2	+3	150%	+1	50%	3	+3	100%	+2	67%	0	+1	-	0	-
S5	3	0	0%	0	0%	22	-4	-18%	-4	-18%	1	-1	-100%	-1	-100%
S6	9	-4	-44%	-1	-11%	33	-23	-70%	-18	-55%	4	-3	-75%	-3	-75%
S7	9	-3	-33%	-2	-22%	21	-11	-52%	+1	5%	3	-3	-100%	-3	-100%
S8	4	+1	25%	+2	50%	11	+14	127%	0	0%	1	-1	-100%	-1	-100%
S9	2	+1	50%	+1	50%	23	-20	-87%	-20	-87%	1	-1	-100%	-1	-100%
S10	10	-4	-40%	-4	-40%	29	-11	-38%	-14	-48%	0	0	-	0	-
Moyenne	7,3	-1,0	17%	+0,4	15%	21,9	-8,0	-16%	-6,7	-17%	1,2	-1,0	-96%	-1,1	-96%

Tableau I.3 Comparaison des résultats des heuristiques SJ et V avec un coût de transfert fixe – Autres critères

	Nombre de patients isolés			Nombre d'infirmières isolées			Nombre de patients avec plusieurs transferts		
	Heuristique SJ	Heuristique V		Heuristique SJ	Heuristique V		Heuristique SJ	Heuristique V	
S1	11	-8	-73%	24	+2	8%	1	0	0%
S2	17	+2	12%	19	+16	84%	1	-1	-100%
S3	21	-9	-43%	26	-10	-38%	1	0	0%
S4	5	-3	-60%	11	-8	-73%	0	0	-
S5	0	+3	-	0	+22	-	0	+1	-
S6	8	+1	13%	22	+11	50%	3	+1	33%
S7	11	-2	-18%	28	-7	-25%	2	+1	50%
S8	2	+2	100%	4	+7	175%	2	-1	-50%
S9	0	+2	-	10	+13	130%	1	0	0%
S10	2	+8	400%	2	+27	1350%	0	0	-
Moyenne	7,7	-0,4	41%	14,60	+7,3	185%	1,10	+0,1	-10%

ANNEXE J COMPARAISON DES RÉSULTATS DES HEURISTIQUES SANS ET AVEC ANTICIPATION DES ENTRÉES ET DES SORTIES

Tableau J.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Autres critères

	Charge maximale		Charge minimale		Moyenne (Wmax-Wmin)		Coût moyen des transferts	
	Sans anticipation	Avec anticipation	Sans anticipation	Avec anticipation	Sans anticipation	Avec anticipation	Sans anticipation	Avec anticipation
S1	90	0%	23	-17%	52	0%	38	-5%
S2	94	0%	7	-186%	52	0%	40	3%
S3	101	-3%	23	0%	56	-5%	50	-8%
S4	98	0%	27	0%	47	-2%	31	19%
S5	97	-2%	21	0%	50	4%	55	-25%
S6	103	-9%	22	0%	51	-8%	44	2%
S7	88	1%	22	0%	48	2%	36	-14%
S8	94	6%	23	0%	48	-2%	48	-2%
S9	122	-3%	20	0%	53	-2%	71	-28%
S10	114	0%	24	0%	72	-1%	34	6%
Moyenne	100,1	-1%	21,	-20%	52,9	-1%	44,7	-5%

	Nombre de patients isolés			Nombre d'infirmières isolées			Nombre de patients avec plusieurs transferts		
	Sans anticipation	Avec anticipation		Sans anticipation	Avec anticipation		Sans anticipation	Avec anticipation	
S1	11	-5	-45%	24	+12	50%	1	0	0%
S2	17	0	0%	19	+11	58%	1	0	0%
S3	21	-7	-33%	26	-5	-19%	1	0	0%
S4	5	-1	-20%	11	-6	-55%	0	+1	-
S5	0	+14	-	0	+33	-	0	+1	-
S6	8	+4	50%	22	+31	141%	3	0	0%

Tableau J.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Autres critères (suite et fin)

	Nombre de patients isolés			Nombre d'infirmières isolées			Nombre de patients avec plusieurs transferts		
	Sans anticipation	Avec anticipation		Sans anticipation	Avec anticipation		Sans anticipation	Avec anticipation	
S7	1	-2	-18%	28	-7	-25%	2	+1	50%
S8	2	+2	100%	4	+20	500%	2	-1	-50%
S9	0	+2	-	10	+6	60%	1	0	0%
S10	2	+7	350%	2	+14	700%	0	+1	-
Moyenne	7,70	+1,4	48%	14,60	+10,9	157%	1,1	+0,3	0%

Tableau J.2 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Autres critères

	Charge maximale				Charge minimale				Moyenne (Wmax-Wmin)				Coût moyen des transferts			
	V1 sans anticipation	V1 avec anticipation	V2 sans anticipation	V2 avec anticipation	V1 sans anticipation	V1 avec anticipation	V2 sans anticipation	V2 avec anticipation	V1 sans anticipation	V1 avec anticipation	V2 sans anticipation	V2 avec anticipation	V1 sans anticipation	V1 avec anticipation	V2 sans anticipation	V2 avec anticipation
S1	122	-23%	122	-26%	18	0%	18	-33%	67	-18%	67	-21%	36	0%	36	-19%
S2	94	0%	109	-1%	7	0%	7	0%	72	-18%	56	5%	14	-100%	34	-53%
S3	122	-13%	106	1%	23	0%	23	0%	73	-16%	59	2%	26	-46%	40	-13%
S4	117	-11%	104	0%	14	-29%	18	-44%	65	-14%	54	0%	16	88%	36	6%
S5	117	-9%	111	-5%	20	0%	21	5%	70	-9%	58	10%	32	-100%	38	-100%
S6	111	0%	111	0%	20	-20%	27	19%	65	-9%	62	-2%	32	22%	37	-16%
S7	118	-11%	89	2%	22	0%	22	0%	59	0%	49	4%	21	-33%	25	-32%
S8	122	-9%	101	10%	20	0%	23	13%	59	-2%	49	8%	33	12%	36	-19%
S9	131	-5%	131	-5%	20	0%	20	0%	70	-13%	70	-13%	47	100%	47	-9%
S10	141	-19%	116	-2%	24	0%	23	0%	87	-14%	76	-3%	14	150%	32	-9%
Moyenne	120	-10%	110	-2%	19	-5%	20	-4%	69	-11%	60	-1%	27	9%	36	-26%

Tableau J.2 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 sans et avec anticipation des entrées et des sorties – Autres critères
(suite et fin)

	Nombre de patients isolés						Nombre d'infirmières isolées						Nombre de patients avec plusieurs transferts					
	V1 sans anticipation	V1 avec anticipation		V2 sans anticipation	V2 avec anticipation		V1 sans anticipation	V1 avec anticipation		V2 sans anticipation	V2 avec anticipation		V1 sans anticipation	V1 avec anticipation		V2 sans anticipation	V2 avec anticipation	
S1	15	-8	-53%	15	-11	-73%	18	+1	6%	18	+2	11%	0	0	-	0	0	-
S2	23	-3	-13%	7	+16	229%	29	-5	-17%	16	+7	44%	0	0	-	1	-1	-100%
S3	6	-3	-50%	7	+7	100%	12	-6	-50%	12	+8	67%	0	0	-	0	0	-
S4	5	0	0%	3	0	0%	9	-3	-33%	7	-2	-29%	0	+1	-	0	0	-
S5	3	0	0%	0	+3	-	9	+9	100%	0	+18		0	0	-	1	-1	-100%
S6	12	-7	-58%	8	0	0%	21	-11	-52%	19	-4	-21%	0	+1	-	1	0	0%
S7	17	-11	-65%	17	-10	-59%	21	-11	-52%	25	-3	-12%	0	0	-	1	-1	-100%
S8	6	-1	-17%	7	-1	-14%	6	+19	317%	11	0	0%	1	-1	-100%	0	0	-
S9	0	+3		0	+3		3	0	0%	3	0	0%	0	0	-	0	0	-
S10	15	-9	-60%	7	-1	-14%	19	-1	-5%	20	-5	-25%	0	0	-	0	0	-
Moyenne	10	-3,9	-35%	7	+0,6	21%	15	-0,8	21%	13	+2,1	4%	0,10	+0,1	-100%	0,40	-0,3	-75,0%

Tableau J.3 Comparaison des heuristiques SJ et V sans anticipation - Autres critères

	Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)			Coût moyen des transferts		
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2
S1	90	36%	36%	23	22%	22%	52	29%	29%	38	-5%	-5%
S2	94	0%	16%	7	0%	0%	52	38%	8%	40	-65%	-15%
S3	101	21%	5%	23	0%	0%	56	30%	5%	50	-48%	-20%
S4	98	19%	6%	27	48%	33%	47	38%	15%	31	-48%	16%

Tableau J.3 Comparaison des heuristiques SJ et V sans anticipation - Autres critères (suite et fin)

	Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)			Coût moyen des transferts		
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ
S5	97	21%	14%	21	5%	0%	50	40%	16%	55	-42%	-31%
S6	103	8%	8%	22	9%	-23%	51	27%	22%	44	-27%	-16%
S7	88	34%	1%	22	0%	0%	48	23%	2%	36	-42%	-31%
S8	94	30%	7%	23	13%	0%	48	23%	2%	48	-31%	-25%
S9	122	7%	7%	20	0%	0%	53	32%	32%	71	-34%	-34%
S10	114	24%	2%	24	0%	4%	72	21%	6%	34	-59%	-6%
Moyenne	100,10	20%	10%	21,20	10%	4%	52,90	30%	14%	44,7	-40%	-17%

	Nombre de patients isolés					Nombre d'infirmières isolées					Nombre de patients avec plusieurs transferts				
	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2	
S1	11	+4	36%	+4	36%	24	-6	-25%	-6	-25%	1	-1	-100%	-1	-100%
S2	17	+6	35%	-10	-59%	19	+10	53%	-3	-16%	1	-1	-100%	0	0%
S3	21	-15	-71%	-14	-67%	26	-14	-54%	-14	-54%	1	-1	-100%	-1	-100%
S4	5	0	0%	-2	-40%	11	-2	-18%	-4	-36%	0	0	-	0	-
S5	0	+3	-	0	-	0	+9	-	0	-	0	0	-	+1	-
S6	8	+4	50%	0	0%	22	-1	-5%	-3	-14%	3	-3	-100%	-2	-200%
S7	11	+6	55%	+6	55%	28	-7	-25%	-3	-11%	2	-2	-100%	-1	-200%
S8	2	+4	200%	+5	250%	4	+2	50%	+7	175%	2	-1	-50%	-2	-100%
S9	0	0	-	0	-	10	-7	-70%	-7	-70%	1	-1	-100%	-1	-100%
S10	2	+13	650%	+5	250%	2	+17	850%	+18	900%	0	0	-	0	-
Moyenne	7,7	+2,5	119%	-0,6	53%	14,60	+0,1	84%	-1,5	94%	1,10	-1,0	-93%	-0,7	-114%

ANNEXE K COMPARAISON DES RÉSULTATS DES HEURISTIQUES SANS ET AVEC ÉVITEMENT DES INFIRMIÈRES ET DES PATIENTS ISOLÉS

Tableau K.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement -
Autres critères

	Charge maximale		Charge minimale		Moyenne (Wmax-Wmin)		Nombre de transferts			Nombre de transferts de nuit		
	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement		Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	
S1	90	0%	23	-13%	52	-2%	7	0	0%	1	-1	-100%
S2	94	0%	7	0%	52	0%	14	0	0%	2	0	0%
S3	101	0%	23	0%	56	0%	16	-1	-6%	3	0	0%
S4	98	0%	27	0%	47	2%	6	+4	67%	2	0	0%
S5	97	0%	21	0%	50	0%	8	+1	13%	5	+1	20%
S6	103	0%	22	0%	51	2%	13	-1	-8%	5	0	0%
S7	88	8%	22	0%	48	4%	14	+6	43%	3	+4	133%
S8	94	-1%	23	13%	48	-2%	9	-1	-11%	2	-1	-50%
S9	122	0%	20	0%	53	0%	7	0	0%	5	0	0%
S10	114	0%	24	0%	72	-1%	9	0	0%	2	0	0%
Moyenne	100,1	1%	21,2	0%	52,9	0%	10,3	+0,8	10%	3,0	+0,3	0%

Tableau K.1 Comparaison des résultats de l'heuristique SJ avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement -
Autres critères (suite et fin)

	Coût moyen des transferts		Nombre de patients avec plusieurs transferts		
	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	Sans évitement de l'isolement	Avec évitement de l'isolement	
S1	38	0%	1	-1	-100%
S2	40	0%	1	-1	-100%
S3	50	-4%	1	0	0%
S4	31	29%	0	0	-
S5	55	-13%	0	+1	-
S6	44	-2%	3	0	0%
S7	36	33%	2	0	0%
S8	48	-8%	2	-1	-50%
S9	71	0%	1	-1	-100%
S10	34	0%	0	0	-
Moyenne	44,7	4%	1,1	-0,3	-50%

Tableau K.2 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement - Autres critères

	Charge maximale				Charge minimale				Moyenne (Wmax-Wmin)			
	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement	V2 sans isolement	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement	V2 sans isolement	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement	V2 sans isolement
S1	94	0%	90	0%	18	0%	24	0%	55	0%	53	0%
S2	94	0%	108	0%	7	0%	7	0%	59	0%	59	0%

Tableau K.2 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement - Autres critères (suite)

	Charge maximale				Charge minimale				Moyenne (Wmax-Wmin)			
	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement	V1 avec isolement	V1 sans isolement	V2 avec isolement
S3	106	0%	107	0%	23	0%	23	0%	61	0%	60	0%
S4	104	0%	104	0%	18	0%	27	4%	54	4%	52	4%
S5	106	0%	106	0%	20	0%	20	0%	64	0%	64	0%
S6	111	0%	111	0%	24	0%	22	0%	59	0%	61	0%
S7	107	-2%	91	0%	22	0%	22	0%	57	4%	52	-2%
S8	111	0%	111	0%	20	0%	20	0%	58	0%	53	0%
S9	118	6%	118	6%	20	0%	20	0%	59	3%	59	3%
S10	114	0%	114	0%	24	0%	23	0%	75	0%	74	0%
Moyenne	107	0,4%	106	1%	20	0%	21	0,4%	60	1,1%	59	0,5%

	Nombre de transferts						Nombre de transferts de nuit					
	V1 avec isolement	V1 sans isolement		V2 avec isolement	V2 sans isolement		V1 avec isolement	V1 sans isolement		V2 avec isolement	V2 sans isolement	
S1	1	0	0%	3	0	0%	0	0	-	0	0	-
S2	0	0	-	1	0	0%	0	0	-	0	0	-
S3	1	0	0%	6	0	0%	1	0	0%	3	0	0%
S4	6	-1	-17%	9	-2	-22%	0	0	-	2	0	0%
S5	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-
S6	7	0	0%	5	0	0%	1	+1	100%	1	0	0%
S7	1	0	0%	5	-2	-40%	0	+1	-	0	+1	-
S8	1	0	0%	3	0	0%	0	0	-	0	0	%
S9	4	-1	-25%	4	-1	-25%	1	0	0%	1	0	0%
S10	2	0	0%	3	0	0%	0	0	-	0	0	-
Moyenne	2,3	-0,2	-5%	4	-0,5	-10%	0,3	+0,2	33%	1	+0,1	0%

Tableau K.2 Comparaison des résultats des heuristiques V1 et V2 avec et sans l'utilisation des fonctions permettant d'éviter l'isolement - Autres critères (suite et fin)

	Coût moyen des transferts						Nombre de patients avec plusieurs transferts					
	V1 avec isolement	V1 sans isolement		V2 avec isolement	V2 sans isolement		V1 avec isolement	V1 sans isolement		V2 avec isolement	V2 sans isolement	
S1	36	36	0%	29	29	0%	0	0	-	0	0	-
S2	0	0		16	16	0%	0	0	-	0	0	-
S3	14	14	0%	35	35	0%	0	0	-	0	0	-
S4	30	30	0%	30	38	27%	1	0	0%	0	0	-
S5	0	0		0	0		0	0	-	0	0	-
S6	37	39	5%	31	31	0%	0	+1	-	1	0	0%
S7	14	14	0%	27	17	-37%	0	0	-	0	0	-
S8	37	37	0%	29	29	0%	0	0	-	0	0	-
S9	49	43	-12%	49	43	-12%	0	0	-	0	0	-
S10	35	35	0%	28	29	4%	0	0	-	0	0	-
Moyenne	25	24,8	-0,9%	27	26,7	-2%	0,1	+0,1	0%	0,1	0	0%

Tableau K.3 Comparaison des résultats des heuristiques SJ et V sans le critère d'isolement - Autres critères

	Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)			Nombre de transferts				
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2	
S1	90	4%	0%	23	22%	-4%	52	81%	73%	7	-6	-86%	-4	-57%
S2	94	0%	15%	7	0%	0%	52	81%	108%	14	-14	-100%	-13	-93%
S3	101	5%	6%	23	0%	0%	56	89%	91%	16	-15	-94%	-10	-63%
S5	97	9%	9%	21	5%	5%	50	112%	112%	8	0	-100%	+3	-100%
S6	103	8%	8%	22	-9%	0%	51	118%	118%	13	-8	-46%	-8	-62%

Tableau K.3 Comparaison des résultats des heuristiques SJ et V sans le critère d'isolement - Autres critères (suite et fin)

	Charge maximale			Charge minimale			Moyenne (Wmax-Wmin)			Nombre de transferts				
	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique SJ	Heuristique V1
S7	88	22%	3%	22	0%	0%	48	123%	90%	14	-6	-93%	-8	-64%
S8	94	18%	18%	23	13%	13%	48	131%	131%	9	-13	-89%	-9	-67%
S9	122	-3%	-3%	20	0%	0%	53	123%	123%	7	-8	-43%	-6	-43%
S10	114	0%	0%	24	0%	4%	72	58%	58%	9	-3	-78%	-3	-67%
Moyenne	100,10	7%	6%	21,20	6%	2%	52,90	104%	102%	10,30	-7	-73%	-6	-56%

	Nombre de transferts de nuit					Coût moyen des transferts			Nombre de patients avec plusieurs transferts				
	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2		Heuristique SJ	Heuristique V1	Heuristique V2	Heuristique SJ	Heuristique V1		Heuristique V2	
S1	1	-1	-100%	-1	-100%	38	-5%	-24%	1	-1	-100%	-1	-100%
S2	2	-2	-100%	-2	-100%	40	-100%	-60%	1	-1	-100%	-1	-100%
S3	3	-2	-67%	0	0%	50	-72%	-30%	1	-1	-100%	-1	-100%
S4	2	-2	-100%	0	0%	31	-3%	-3%	0	+1	-	0	-
S5	5	-5	-100%	-5	-100%	55	-100%	-100%	0	0	-	0	-
S6	5	-4	-80%	-4	-80%	44	-16%	-30%	3	-3	-100%	-2	-200%
S7	3	-3	-100%	-3	-100%	36	-61%	-25%	2	-2	-100%	-2	-100%
S8	2	-2	-100%	-2	-100%	48	-23%	-40%	2	-2	-100%	-2	-100%
S9	5	-4	-80%	-4	-80%	71	-31%	-31%	1	-1	-100%	-1	-100%
S10	2	-2	-100%	-2	-100%	34	3%	-18%	0	0	-	0	-
Moyenne	3,0	-2,7	-93%	-2,3	-76%	44,7	-41%	-36%	1,1	-1,0	-100%	-1,0	-114%