

Planification et ordonnancement d'un bloc opératoire : Cas de l'hôpital de Mont-Godinne

Mémoire réalisé par
Maëliiss Cornez

Promoteur(s)
Nadine Meskens

Lecteur
Mehdi Telemsani

Année académique 2014-2015
Master en Ingénieur de gestion

Résumé

Dans ce mémoire centré sur la gestion des blocs opératoires, nous étudierons principalement la planification et l'ordonnancement de ces derniers. La programmation opératoire est un élément central ayant de nombreuses influences sur les activités hospitalières qui gravitent autour du bloc opératoire. Elle fait partie des axes possibles pour améliorer la gestion et l'efficacité de ces derniers à l'heure où optimisation et rendement ont fait leur apparition dans ce domaine si singulier. Le nombre de contraintes, d'acteurs et l'incertitude rendent ce problème complexe. De nombreux modèles mathématiques ont déjà vu le jour pour faciliter l'aide à la décision.

Un modèle de planification multiobjectif a été conçu pour modéliser le problème de la planification. Les divers objectifs ont été combinés grâce à une technique lexicographique où les différents objectifs sont avancés par priorités. Le modèle mathématique est résolu au travers d'une heuristique *Fix and Solve* et de l'algorithme du *Branch and Bound*. Il a permis de trouver le jour opportun pour l'opération de chaque patient et l'affectation de ces derniers dans un service pour l'ensemble de leur séjour. Le modèle a ensuite été testé sur base de données réelles provenant de l'hôpital de Mont-Godinne. L'ordonnancement des opérations a ensuite pu être réalisé sur base des critères utilisés dans l'hôpital à partir de la planification obtenue. Une analyse des incertitudes s'est enfin vue effectuée sur cette base.

Remerciements

Je voudrais en premier lieu, remercier ma promotrice Madame Nadine Meskens pour son aide, ses précieux conseils et ses ajustements lors de l'élaboration de ce mémoire. Ses nombreux questionnements et réflexions pertinentes m'ont permis de progresser dans mon travail.

Toute ma gratitude va aussi à l'ensemble du personnel du CHU Dinant-Godinne pour son accueil, à la Direction de l'hôpital qui m'a permis l'utilisation de leurs données et à Monsieur André Parent pour l'extraction d'une partie de ces dernières. Sans l'expérience, la patience, l'implication et les réflexions avisées du Docteur Christophe Dransart, sur le sujet de mon mémoire, je n'aurais pu comprendre et cerner le fonctionnement complexe d'un bloc opératoire, élément central de celui-ci.

Je n'oublie pas le service informatique de l'UCL-Mons qui m'a apporté son aide pour l'utilisation des ressources informatiques nécessaires à la rédaction de ce mémoire.

Enfin, j'ai aussi pu compter sur mon entourage qui m'a soutenue durant toute la rédaction de mon mémoire.

Table des matières

Résumé.....	II
Remerciements	III
Introduction générale.....	1
Partie 1 : Contexte général et gestion du bloc opératoire	3
1 Introduction	3
2 Système hospitalier belge	4
2.1 Structure.....	4
2.2 Financement.....	4
3 Bloc opératoire	7
3.1 L'intérêt pour le bloc opératoire	7
3.2 La définition du bloc opératoire	8
3.3 Les techniques de programmation opératoire.....	10
3.3.1 Allocation préalable de plages horaires (block scheduling).....	11
3.3.2 Programmation ouverte (open scheduling)	12
3.3.3 Programmation par allocation et ajustement de plages (modified block scheduling)	12
3.3.4 Avantages et inconvénients des méthodes	13
3.4 Les niveaux de décision.....	15
3.5 Les perturbations	16
3.5.1 Les aléas	17
3.5.2 Les incertitudes	18
4 Notre problématique.....	20
5 Conclusion.....	21
Partie 2 : Etat de l'art.....	22
1 Introduction	22
2 La planification	22

2.1	Fonctions objectifs.....	22
2.2	Contraintes spécifiques.....	23
2.3	Méthodes de résolution.....	26
2.4	Résumé de la littérature des modèles de planification	27
3	L'ordonnancement	28
3.1	Fonctions objectifs.....	28
3.2	Contraintes.....	30
3.3	Méthodes de résolution.....	32
3.4	Résumé de la littérature des modèles d'ordonnancement.....	34
4	Planification et ordonnancement	36
4.1	Fonctions objectifs.....	36
4.2	Contraintes spécifiques.....	38
4.3	Méthodes de résolution.....	41
4.4	Résumé de la littérature des modèles de planification et ordonnancement	43
5	Comparaison avec la revue de littérature de Cardoen et al. (2010)	45
6	Conclusion.....	46
	Partie 3 : Modélisation de la planification	47
1	Introduction	47
2	Hypothèses	48
3	Nomenclature	48
4	Modélisation.....	51
4.1	Fonctions objectifs.....	51
4.2	Contraintes.....	52
5	Méthodologie	56
5.1	L'algorithme du Branch and Bound	56
5.1.1	Linear programming relaxation.....	57
5.1.2	Principe de sélection du nœud et de « branchement »	57

5.1.3	Algorithmes utilisés par FICO Xpress pour les programmes linéaires	58
5.2	Heuristique.....	59
6	Conclusion.....	60
Partie 4 : Cas d'application		61
1	Introduction	61
2	Le CHU Dinant-Godinne UCL Namur	61
3	Analyse du fonctionnement du bloc opératoire.....	62
3.1	La programmation	62
3.2	L'impact et la gestion des perturbations.....	64
3.2.1	Les aléas	64
3.2.2	Les incertitudes	65
4	Présentation des données.....	66
5	Résultats	68
5.1	Modélisation de base avec l'ordre de priorité 1	69
5.1.1	Les chirurgiens	71
5.1.2	Les préférences des patients.....	71
5.1.3	Les unités et la trajectoire des patients.....	71
5.2	Variation des ordres de priorités des objectifs.....	74
5.2.1	Ordre de priorité 2	74
5.2.2	Ordre de priorité 3	75
5.3	Variation de contraintes et de paramètres sur base de l'ordre de priorité 1	76
5.3.1	Modélisation avec limitation du nombre de changements d'unités	76
5.3.2	Planification sur base du MSS réel et des jours d'opération réels	77
5.3.3	Planification sur base du Master Surgical Schedule réel	79
5.4	Analyse de la programmation faite par le modèle de planification et l'heuristique d'ordonnancement.....	80
5.4.1	Utilisation des durées réelles des opérations.....	80

5.4.2	Insertion des urgences	81
5.4.3	Chemin imprécis du patient.....	82
6	Recommandations	82
7	Limites du modèle	83
8	Conclusion.....	84
	Conclusion générale et perspectives.....	85
	Bibliographie	87
1.	Articles et livres	87
2.	Rapports	92
3.	Pages internet	92
4.	Textes législatifs.....	93
	Annexes	95
	Annexe 1 : Evolution de la durée moyenne de séjour en Belgique.....	95
	Annexe 2 : Disposition géographique des lits en Belgique et de la répartition de la population.....	96
	Annexe 3 : Les composantes du budget des moyens financiers	97

Table des tableaux

Tableau 1 : Trois indicateurs hospitaliers pour la Belgique, la France, la Suisse, les Pays-Bas et l'OCDE en 2012 (adapté de Van de Voorde et al., 2014 a).....	4
Tableau 2 : Comparatif des avantages et inconvénients des méthodes de programmation	14
Tableau 3 : Résumé des modèles de planification	27
Tableau 4 : Légende du tableau résumant les modèles de planification	28
Tableau 5 : Résumé des modèles d'ordonnancement	34
Tableau 6 : Légende du tableau résumant les modèles d'ordonnancement.....	35
Tableau 7 : Résumé des modèles de planification et ordonnancement.....	43
Tableau 8 : Légende du tableau résumant les modèles de planification et d'ordonnancement	44
Tableau 9 : Description des notations, des paramètres et variables du modèle de planification	50
Tableau 10 : Description des variables de décisions du modèle de planification	51
Tableau 11 : Exemple d'une matrice $Prox(u_1, u_2)$	52
Tableau 12 : Résumé des résultats de la modélisation avec l'ordre de priorité 1	70
Tableau 13 : Répartition des patients en fonction du nombre de services différents visités....	72
Tableau 14 : Matrice de proximité fictive	73
Tableau 15 : Résumé des résultats de la modélisation avec l'ordre de priorité 2	75
Tableau 16 : Résumé des résultats de la modélisation avec l'ordre de priorité 3	76
Tableau 17 : Résumé des résultats de la modélisation avec limitation des changements de service (ordre de priorité 1).....	77
Tableau 18 : Résumé des résultats de la modélisation avec les jours d'opération et le MSS réels (ordre de priorité 1).....	78
Tableau 19 : Résumé des résultats de la modélisation avec le MSS réel (Ordre de priorité 1)	79
Tableau 20 : Composantes du budget des moyens financiers (traduit de Van de Voorde et al., 2014 a).....	97

Table des figures

Figure 1 : Pyramide des âges de la population belge 2003-2013 (adapté de Eurostat 2014).....	3
Figure 2 : Budget des hôpitaux entre 2003 et 2014 (Service publique fédéral, 2014).....	7
Figure 3 : Flux de patients par rapport au bloc opératoire	10
Figure 4 : Exemple de MSS par allocation préalable des plages	11
Figure 5 : Les niveaux de décision.....	15
Figure 6 : Comparaison des modèles comprenant la planification et l'ordonnancement	36
Figure 7 : Exemple de branchement pour l'algorithme du Branch and Bound	58
Figure 8 : Algorithme de l'heuristique choisie	60
Figure 9 : Cheminement de la programmation opératoire au CHU	62
Figure 10 : Taux d'urgences en pourcentage de l'activité par spécialité en février.....	65
Figure 11 : Nombre moyen d'urgences par jour de la semaine en 2014	65
Figure 12 : Exemple de MSS au CHU	67
Figure 13 : Présence des patients chirurgicaux sur la période considérée	70
Figure 14 : Exemple de trajectoire d'un patient	71
Figure 15 : Exemple de programme opératoire.....	80
Figure 16 : Programmation en utilisant les données réelles.....	81
Figure 17 : Programmation avec l'incorporation des urgences	81
Figure 18 : Occupation de la salle de réveil	82
Figure 19 : Durée moyenne de séjour en Belgique entre 2000 et 2011 (adapté de OCDE, 2014).....	95
Figure 20 : Disposition géographique des lits en Belgique et de la répartition de la population en 2013 - Van de Voorde et al. (2014 a)	96

Introduction générale

Entre hausse de la demande et contrainte budgétaire, le monde hospitalier doit sans cesse se renouveler pour continuer à garantir l'offre de soins, la qualité et l'évolution de ces derniers. La gestion des centres de soins tourne de plus en plus autour de la rationalisation, l'efficacité et l'optimisation.

Dans ce contexte, la gestion des blocs opératoires a pris une place importante tant il est générateur de revenus mais aussi de coûts. Par ailleurs, son fonctionnement influence de manière non négligeable un ensemble d'autres fonctions présentes au sein des hôpitaux.

Ce mémoire se concentre sur la programmation opératoire et plus spécifiquement, sur la planification et l'ordonnancement des blocs opératoires. L'intérêt pour ce domaine est grandissant depuis de nombreuses années et ce, puisque la programmation peut fortement influencer l'efficacité des quartiers opératoires. De nombreux modèles mathématiques et techniques de résolution ont été proposés pour s'approcher le plus possible d'une réalité complexe composée de nombreux éléments. Parmi ceux-ci, nous pouvons noter un nombre considérable de contraintes matérielles, législatives et de ressources humaines mobilisées. Le tout pouvant avoir des objectifs distincts et parfois même opposables.

Si de nombreux modèles et points de vue sont apparus sur le sujet, deux points communs peuvent néanmoins être mis en avant : la volonté d'utiliser au mieux l'ensemble des ressources disponibles pour accomplir les objectifs de l'ensemble des acteurs concernés et le souhait d'apporter une aide aux gestionnaires qui doivent quotidiennement jongler entre tous ces paramètres.

Ce mémoire est composé de quatre parties :

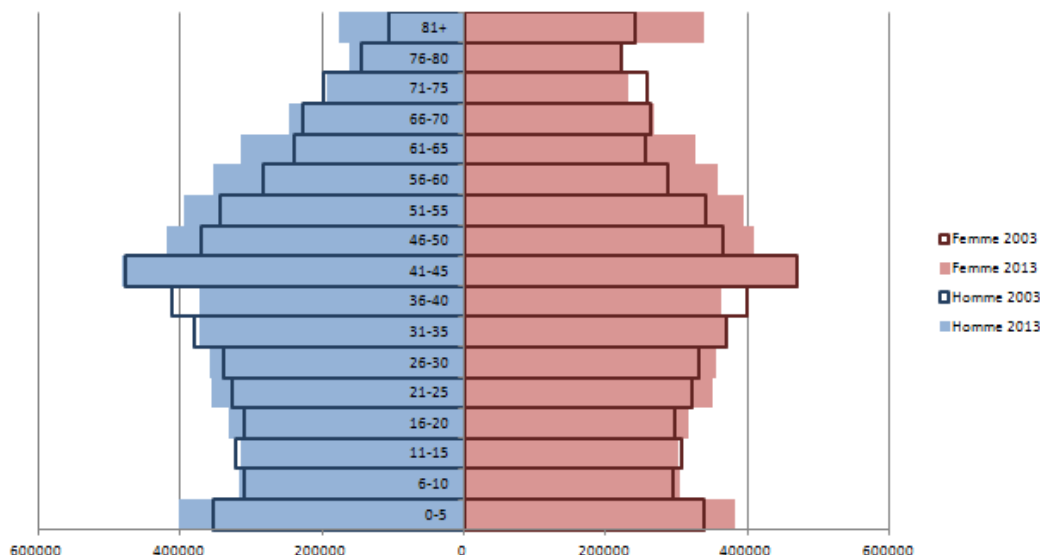
- La première introduit le contexte général et les grands concepts de ce travail. Elle définit aussi la problématique traitée.
- Un état de l'art est ensuite proposé. Ce dernier traitera de la planification et de l'ordonnancement des blocs opératoires. L'analyse porte principalement sur les fonctions objectifs, les contraintes et les méthodes de résolution.

- La troisième partie est composée du modèle proposé et de la technique de résolution qui a été choisie pour ce dernier. Le modèle est présenté au travers des ses quatre fonctions objectifs et de ses contraintes.
- La dernière partie est un cas d'application du modèle proposé. Plusieurs variations de ce dernier sont proposées. Elle se conclut par les recommandations et les limites du modèle proposé.

Partie 1 : Contexte général et gestion du bloc opératoire

1 Introduction

Le milieu hospitalier fait face à un problème majeur qu'il devra solutionner dans les années à venir. Ce dernier est soumis à une augmentation de la demande de soins et à une réduction ou une stagnation de ses budgets. L'augmentation de la demande est notamment due au



vieillesse de la population. La figure 1¹ réalisée sur base des données de la Commission Européenne, démontre le vieillissement de la population au cours du temps. La pyramide des âges délimitée par des contours représente celle de 2003. L'autre représente celle de 2013. Cette figure montre clairement un déplacement de la masse de population vers le haut. Nous avons donc une situation où la demande de soins augmente. Par ailleurs, les hôpitaux doivent réduire leurs coûts, ce qui a provoqué une stagnation ou une diminution du nombre de ressources humaines et matérielles. De ce fait, les hôpitaux sont forcés à une gestion plus performante de leurs ressources. Le système belge ne fait pas exception à la règle et devra lui aussi, opérer des changements. Dans la section suivante, le système de notre pays sera expliqué en termes de structure et de financement. Le contexte du bloc opératoire sera abordé par après au travers de son intérêt, sa définition et sa gestion des diverses perturbations.

¹Commission Européenne (2012), *Eurostat : structure et vieillissement de la population*. En ligne http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Population_structure_and_ageing/fr

2 Système hospitalier belge

2.1 Structure

Selon Van de Voorde et al. (2014 a), d'un point de vue structure, parmi les 192 hôpitaux de Belgique, deux grands ensembles d'hôpitaux peuvent être distingués. Premièrement, les hôpitaux dits « généraux ». La Belgique en compte 127. Dans cette catégorie, se trouvent notamment sept hôpitaux universitaires. Deuxièmement, les hôpitaux psychiatriques qui sont au nombre de 65. En 2012, l'ensemble de ces hôpitaux représentaient une moyenne de 6,3 lits pour 1000 habitants. Ceci place la Belgique au-dessus de la moyenne de l'OCDE qui est de 4,8 lits pour 1000 habitants. La Belgique figure aussi au-dessus de la moyenne en termes de durées de séjour, toutes maladies confondues, avec une durée de 6,8 jours en 2011 (OECD Health Statistics, 2014). A noter que de manière générale, les durées de séjour sont en diminution. Un graphique reprenant les durées moyennes de séjour en Belgique entre 2000 et 2011 se trouve en annexe 1. Le tableau 1 reprend un résumé de la situation de la Belgique en comparaison avec d'autres pays, et ce, pour trois indicateurs hospitaliers. En annexe 2, se trouve une figure reprenant la disposition géographique des lits en Belgique par rapport à la répartition de la population.

	Nombre de lits pour les soins par 1000 habitants	Taux d'occupation des lits pour les soins (en %)	Durée moyenne de séjour
Belgique	4	78,2	7,2
France	3,4	75	5,1
Suisse	3	82,9	6,1
Pays-Bas	3,3	45,6	6,4
OCDE	3.3	75,6	6,6

Tableau 1 : Trois indicateurs hospitaliers pour la Belgique, la France, la Suisse, les Pays-Bas et l'OCDE en 2012
(adapté de Van de Voorde et al., 2014 a)

2.2 Financement

Le monde hospitalier belge est, à l'heure actuelle, en pleine réforme. En 2013, un rapport a dès lors, été ordonné par le Ministre des Affaires sociales et de la Santé publique, afin d'obtenir une image du système belge. Ce dernier a été rédigé par Van de Voorde et al. (2014 a) pour le Centre Fédéral d'Expertise (KCE). D'un point de vue médical, le système semble

bien se porter. La population est visiblement satisfaite des soins de santé proposés avec une sixième place sur 35 pays classés par l'*Euro Health Consumer Index*. La Belgique se classe devant la France et la Grande-Bretagne mais derrière les Pays-Bas (1^{ers}). Le rapport mentionne cependant que, d'un point de vue des indicateurs de résultats, les chiffres sont moins favorables. Le système est relativement coûteux, représentant « 10,9% du produit intérieur brut » (p.8).

Au fil du temps, de nombreuses évolutions ont été opérées pour le financement des hôpitaux. Selon Durant (2014, p.VII), nous sommes passés d'un financement « rétrospectif » à « prospectif ». Le premier permettait un remboursement des dépenses des hôpitaux. Le deuxième impose aux hôpitaux d'être en constante recherche d' « efficacité en les payant avec des enveloppes fermées ou de manière forfaitaire ». Les changements opérés sont justifiés par l'auteur comme une volonté d'accomplir des remaniements à divers niveaux comme :

- plus de transparence,
- plus d'équité entre les hôpitaux,
- incitation à une réduction des durées de séjour,
- plus d'initiative et de responsabilité au gestionnaire dans l'attribution des ressources dans son hôpital,
- meilleure maîtrise des dépenses d'hospitalisation.

Bien que le modèle belge soit souvent estimé comme efficace, il comporte certains défauts notamment dus à sa complexité et à son sous-financement.

Le financement des hôpitaux en Belgique se fait sur base d'une enveloppe fermée qui est distribuée entre ces derniers. En 2013, le montant de l'enveloppe s'élevait à 7,8 milliards d'euros : 6,5 milliards sont allés aux hôpitaux qualifiés de généraux, le reste a été attribué aux hôpitaux psychiatriques. Chaque hôpital reçoit donc un montant appelé « budget des moyens financiers (BMF) ». Pour l'auteur, le nombre d'admissions est le moteur du financement des hôpitaux. Ces dernières requièrent donc une attention particulière afin qu'elles ne soient pas amplifiées par exemple par des réadmissions non justifiées. Dans le même ordre d'idée, depuis le 1^{er} janvier 2014, les réadmissions de moins de dix jours après la sortie du patient ne peuvent plus être facturées qu'à hauteur de 82% (Van de Voorde et al., 2014 a).

Concrètement, selon Durant (2014) les revenus d'un hôpital peuvent provenir de trois sources différentes :

- le BMF qui représente en moyenne entre 42% et 45% des recettes d'un hôpital. Celui-ci est décomposé en une partie fixe et une autre variable. Cette dernière dépend de paramètres d'activités comme le nombre d'admissions. Le BMF peut être scindé en trois parties qui elles-mêmes peuvent être à nouveau divisées. Un tableau reprenant les différentes composantes du BMF se trouve en annexe 3.
- La facturation des honoraires médicaux représente généralement entre 42% et 45%. Ceux-ci sont déterminés par l'Institut National d'Assurance Maladie Invalidité (INAMI).
- La facturation des médicaments, est scindée en deux parties. La première est forfaitaire tandis que la seconde, dépend de la consommation. Le tout représente entre 12% à 15%. Ce point est aussi géré par l'INAMI.

Un malaise existe bien, et ce, dû à un sous-financement. En effet, pour Van de Voorde et al. (2014 a), le budget des moyens financiers (BMF) ne couvre plus les frais, mettant certains hôpitaux dans une situation financière délicate. En Belgique, le budget global attribué aux hôpitaux est cependant en hausse. La figure 2² indique une croissance constante entre 2003 et 2014 à l'exception de 2005. Nous pouvons aussi observer que cette croissance est plus élevée pour les hôpitaux généraux que les hôpitaux psychiatriques. Pour relever ce défi d'efficacité, les hôpitaux devront optimiser leurs processus. L'un des points d'attention sera le bloc opératoire.

Le refinancement mentionné précédemment devrait aussi, quant à lui, changer le paysage hospitalier belge. Certaines pistes ont déjà été proposées par Van de Voorde et al. (2014 b) dans la synthèse du rapport précité. Trois piliers de réforme ont été avancés :

- le budget des moyens financiers
- les honoraires,
- le paysage hospitalier belge.

La sixième réforme de l'Etat change elle-aussi, le paysage du financement hospitalier en transférant une partie des compétences du Fédéral vers les Communautés et les Régions. Le

² Service publique fédéral. *Budget global graphique* - Mis à jour 10/09/14. http://health.belgium.be/eportal/Healthcare/Healthcarefacilities/Financing/Hospitals/18067053_FR?ie2Term=nieuws?&&fodnlang=fr#.VGhsAcm2nXQ

transfert de compétences liées aux soins de santé représente un montant de cinq milliards d'euros. Quelques 602,3 millions d'euros sont directement liés aux investissements hospitaliers sur les infrastructures et les services médico-techniques. A noter que ce dernier montant sera transféré le 1^{er} janvier 2016 (Van de Voorde et al., 2014 a).

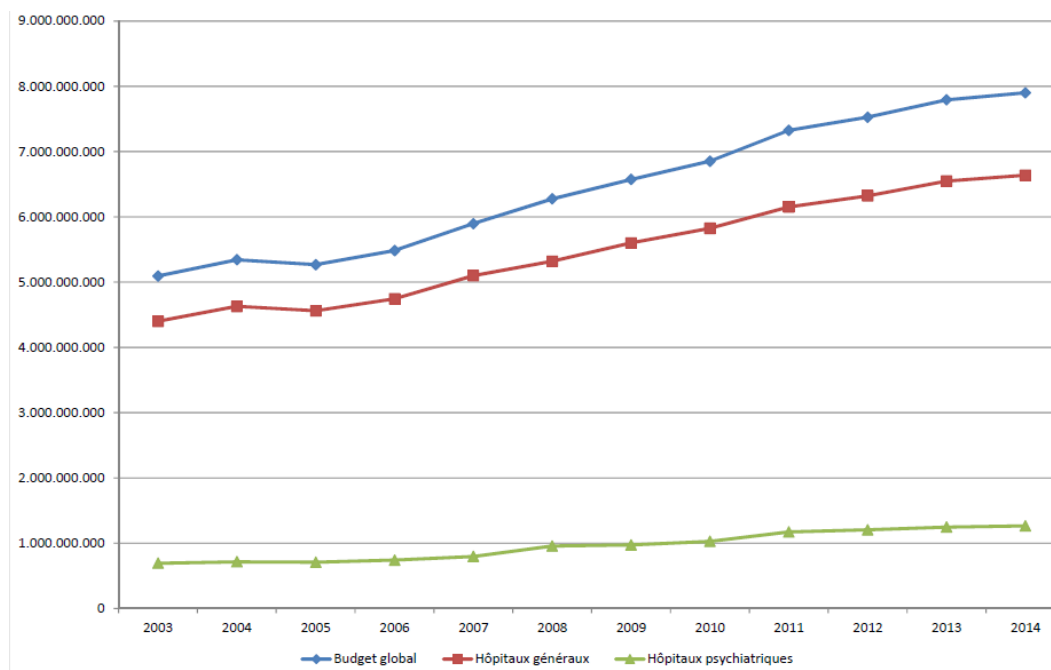


Figure 2 : Budget des hôpitaux entre 2003 et 2014 (Service publique fédéral, 2014)

3 Bloc opératoire

3.1 L'intérêt pour le bloc opératoire

De nombreux auteurs s'accordent pour dire que le bloc opératoire est un élément central de grande importance. L'intérêt pour la gestion du bloc opératoire, qui est un lieu clé au sein de l'hôpital, peut s'expliquer par le désir de « réduire les coûts de la santé et augmenter la rentabilité économique des établissements de soins » (Jebali et Bouchriha 2007, p.27). Le pourcentage des coûts représenté par ce secteur étant environ de 10% (Chaabane et al., 2007 ; Combes et al., 2008 a), Beliën et Demeulemeester (2007) comparent le bloc opératoire au « moteur qui fait avancer l'hôpital » (p.1186). Un grand nombre d'activités de l'hôpital sont influencées par celles du bloc opératoire qui fait partie d'un ensemble appelé plateau médico-technique. Dans le même ordre d'idée, Guerriero et Guido (2011) expliquent que 60% à 70% des patients admis, le sont en raison d'un acte chirurgical. L'objectif général est donc

d'améliorer la gestion du bloc opératoire. Chaabane et al. (2007) indiquent trois manières de le faire : « reconfigurer les blocs opératoires, améliorer les systèmes d'information ou encore optimiser les programmes opératoires » (p.18). Pour optimiser ceux-ci, Fei (2006) propose trois axes : « l'amélioration de la coordination, l'amélioration des estimations de durées opératoires et enfin l'amélioration de la politique d'affectation des opérations ».

3.2 La définition du bloc opératoire

La figure 3 illustre, de manière générale, le contexte du bloc opératoire ainsi que les flux de patients caractérisés par les flux bleus et de matériels, caractérisés par les flux rouges. Le bloc opératoire est composé de salles d'opération et de salles de réveil. Les salles d'opération peuvent être polyvalentes ou dédiées à un certain type d'opérations. Une ou plusieurs salles peuvent aussi être réservées pour les urgences. Aloui (2005)³ mentionné par Jebali et Bouchriha (2007), constate que deux types de blocs opératoires peuvent être distingués. « Un bloc central » (p.27) où seront reçus les flux de patients provenant de l'ensemble des services et « un bloc pavillonnaire » (p.27) si chaque spécialité dispose d'une infrastructure dédiée. Le bloc opératoire, la stérilisation et la radio forment ce que l'on appelle le plateau médico-technique.

En termes de flux de patients, les patients peuvent venir de différents endroits : leur domicile, une unité de soins, des urgences ou encore des soins intensifs. En général, ceux qui proviennent directement de leur domicile sont ceux qui passent uniquement une radiographie et qui ressortiront immédiatement du plateau médico-technique sans passer par le bloc opératoire. Les autres entreront dans le plateau médico-technique et passeront une radio, iront au bloc opératoire ou passeront par les deux. Les patients provenant des urgences seront dit non-électifs. A la sortie du bloc opératoire, les patients seront dirigés vers la salle de réveil ou sortiront directement du bloc opératoire et du plateau médico-technique. Ces derniers correspondent aux patients qui seront accueillis aux soins intensifs. Les patients qui sont passés par la salle de réveil seront conduits aux soins intensifs si leur état le nécessite ou retourneront dans une unité de soins. En Belgique, le nombre de lits en salle de réveil est régulé par un Arrêté royal fixant des normes spéciales pour les hôpitaux et services universitaires (1978). Elle doit disposer d'un nombre de lits égal à une fois et demi le nombre de salles d'opération. Un autre Arrêté royal fixant les normes auxquelles un programme de

³ Aloui, H., (2005). *Evaluation de deux stratégies de planification des interventions au bloc opératoire*. Mémoire de Master Génie des Systèmes Industriels de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Tunis

soins pour enfants doit répondre pour être agréé (2014), impose un espace séparé pour les enfants en salle de réveil, pour recevoir l'agrégation pour le programme de soins pour enfants.

De même que pour les patients, un flux de matériel peut être identifié. Deux grandes sources peuvent être identifiées : le service achat et la pharmacie. De la pharmacie viendront généralement des produits comme les médicaments et les implants. Le reste comprenant notamment le matériel à usage unique, viendra du service achat. Le matériel sera directement distribué en salle d'opération, de réveil et en radiologie. Un circuit interne peut aussi être identifié. Il s'agit de celui de la stérilisation. En effet, le matériel réutilisable tournera au sein du plateau médico-technique en passant à chaque fois par la stérilisation.

En ce qui concerne les patients, deux catégories peuvent être distinguées. Premièrement, les patients dits « électifs » qui sont connus à l'avance et deuxièmement les patients « non électifs » ou urgents qui n'étaient pas prévus initialement. Les patients électifs seront encore subdivisés en deux groupes. Les patients *in* et les patients *out*. Les premiers devront passer au moins une nuit à l'hôpital. Les autres viennent de leur domicile et y retourneront le jour même. Dans certains hôpitaux, les patients *in* et *out* sont traités dans deux blocs opératoires distincts.

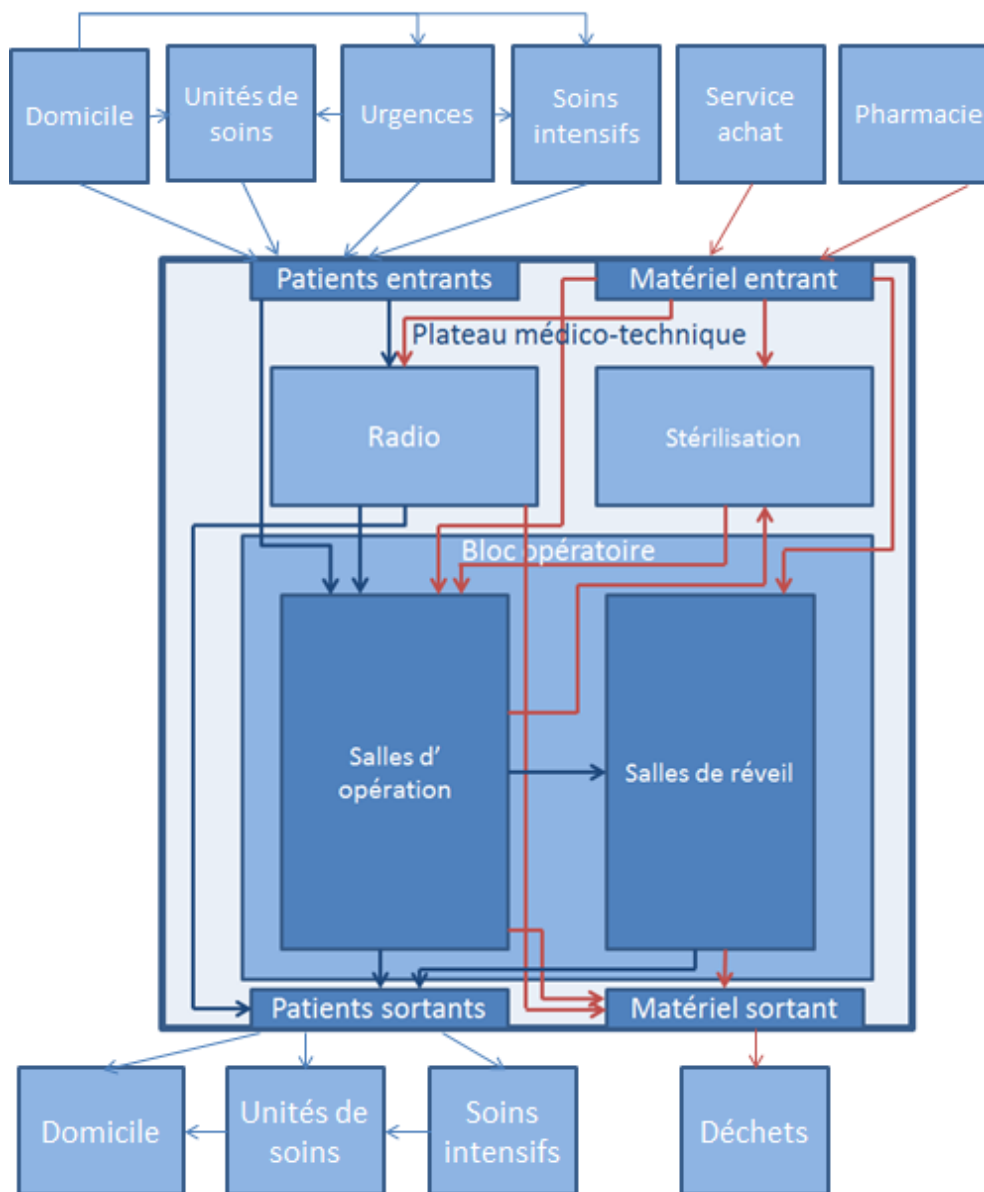


Figure 3 : Flux de patients par rapport au bloc opératoire

3.3 Les techniques de programmation opératoire

Comme énoncé par Patterson (1996)⁴ et Kharraja⁵ (2003) mentionnés par Fei (2006), les techniques de programmation opératoire peuvent être regroupées en trois grandes catégories : « la programmation par allocation préalable de plages horaires (*block scheduling*), la programmation ouverte (*open scheduling*), et la programmation par allocation et ajustement

⁴ Patterson P. (1996). What makes a well-oiled scheduling system, *Journal of OR Manager* 12 (9), 19-23.

⁵ Kharraja S. (2003). *Outils d'aide à la planification et l'ordonnancement des plateaux-médico-techniques*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, Université Jean-Monnet, Saint-Etienne

de plages (*modified block scheduling*) ». Dans cette section, nous parcourrons donc ces trois techniques et analyserons leurs avantages et inconvénients.

3.3.1 Allocation préalable de plages horaires (*block scheduling*)

La programmation par allocation préalable de plages horaires est, selon Meskens et al. (2013 b), la technique la plus répandue à l'heure actuelle en Belgique et en France. Le principe de cette méthode est, selon Hammami et al. (2007), de construire un « squelette » allouant aux différents chirurgiens ou spécialités, diverses plages horaires sur une semaine.

D'après Guerriero et Guido (2011), la programmation par allocation préalable de plages horaires se fait en deux temps :

- 1) Il faut distribuer les différentes plages horaires entre les chirurgiens ou les spécialités et ce, en fonction de leur charge de travail passée et prévue ainsi que de leurs préférences. Cette première étape permettra la construction d'un plan directeur. Guerriero et Guido (2011) indiquent que cette construction se fait en respectant certaines contraintes telles que la répartition dans des hôpitaux multi-sites. Fei (2006) insiste aussi sur l'importance de ce dernier et son rôle dans la qualité de la programmation. « Des plages surdimensionnées apporteront du confort pour les chirurgiens mais conduiront à une performance médiocre et des plages justes ou sous-dimensionnées risquent, en cas d'aléas, de provoquer des tensions entre chirurgiens lors du changement de plages » (p.15). Fei (2006) mentionne que ces attributions sont généralement révisées annuellement. Cependant, il se peut que cette périodicité diffère. La figure 4 représente un *Master Surgical Schedule* (MSS) réalisé en allocation préalable des plages. Les lettres dans les différentes plages peuvent représenter soit des chirurgiens soit des spécialités.

	Lundi		Mardi		Mercredi	
	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi
Salle 1	A			D	A	B
Salle 2	B	B	A		C	C
Salle 3		A		A		
Salle 4		C	C		E	E
Salle 5	E	E	B	B	D	D

Figure 4 : Exemple de MSS par allocation préalable des plages

- 2) Il faudra assigner les opérations à une journée. Cette étape correspond à la planification des interventions. Pour Fei (2006), cette phase « consiste à affecter une date d'opération aux patients dans l'avenir » (p. 13).
- 3) Pour chaque jour, toutes les opérations doivent être assignées à une salle et à une heure. Cette étape correspond à l'ordonnancement. Pour Fei (2006), l'ordonnancement « consiste à déterminer l'ordre des interventions dans un bloc opératoire pour une journée » (p.13). Les assignations ne peuvent se faire que dans les plages correspondant à la spécialité ou au chirurgien chargé de l'intervention.

3.3.2 Programmation ouverte (open scheduling)

Pour Hammami et al. (2007), la programmation ouverte est une technique sur base de laquelle un planning est élaboré « vierge de toutes contraintes de placement ». Chaabane et al. (2007) précisent que la programmation est donc centralisée. Kharraja (2003)⁶ évoqué par Fei (2006) et Hammami et al. (2007), fait la différence entre deux techniques de programmation ouverte. La première se fait par la règle du « premier arrivé, premier servi ». La seconde se fait suite à une concertation entre les différentes parties. Comme pour l'allocation préalable des plages, la programmation ouverte peut se traduire par deux sous-problèmes. Chaabane et al. (2007) définissent la première comme permettant d'affecter les opérations dans les différentes salles. La deuxième permettra d'ordonnancer les opérations dans chaque salle.

3.3.3 Programmation par allocation et ajustement de plages (modified block scheduling)

Pour Fei (2006), Guerriero et Guido (2011), cette méthode est basée sur le principe d'allocation préalable des plages. Tous deux s'accordent pour dire qu'elle offre plus de flexibilité que la méthode sur laquelle elle se base. Deux procédés énoncés par Fei (2006) ont pu être mis en avant pour expliquer cette flexibilité.

Premièrement, un certain nombre de « plages horaires » restent non affectées afin de pouvoir réagir à des opérations qui durent plus longtemps ou des surcharges horaires. L'auteur précise alors que ces plages sont remplies en programmation ouverte.

Deuxièmement, le procédé offrira une flexibilité en permettant une redistribution si une plage n'est pas utilisée. Citons comme exemple : un délai fixé à 48h avant le début de la plage. Si

⁶ Kharraja S. (2003). *Outils d'aide à la planification et l'ordonnancement des plateaux médico-techniques*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, Université Jean-Monnet, Saint-Etienne

celle-ci n'est pas utilisée, elle sera alors réallouée à un chirurgien ou à une spécialité qui en a besoin.

3.3.4 Avantages et inconvénients des méthodes

Le choix d'une méthode de programmation va avoir des influences non négligeables sur le planning et la vie du bloc opératoire. Le choix est donc important. Différents critères de sélection peuvent intervenir. Pour Chaabane et al. (2007) citant Marcon et Kharraja (2003)⁷, ainsi que Marty (2003)⁸, ce choix est lié au « type de la structure de santé (institution publique ou privée, type de tarification, ...) et au nombre de patients anesthésiés ». Les auteurs précisent qu'un bloc opératoire qui pratique peu d'interventions a tendance à suivre une programmation ouverte. A l'inverse, ceux qui ont un plus grand volume de patients se dirigeraient vers une programmation par allocation préalable des plages. Chaque méthode a des avantages et des inconvénients. Ceux-ci doivent aussi être pris en compte lors du choix. Le tableau 2 reprend un ensemble de points positifs et négatifs qui peuvent être mentionnés pour les trois stratégies.

⁷ Marcon E. et S. Kharraja (2003), Modèles et stratégies de programmation opératoire. *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RS-JESA)* 37(5), 687-716. doi :10.3166/jesa.37.687-716

⁸ Marty J. (2003), Organisation, Qualité, Gestion du risque en Anesthésie-Réanimation, *Collection Pratique en anesthésie, réanimation, urgences*. Paris: Masson.

	Programmation ouverte	Par allocation des plages	Par allocation des plages avec ajustements
Avantages	• Plus flexible, plus souple que l'allocation par plages (Guerriero et Guido, 2011 ; Hammami et al., 2007) • Meilleure assignation des chirurgies (Guerriero et Guido, 2011) • Simple (Guerriero et Guido, 2011 ; Fei, 2006)	• Le responsable ne doit plus s'occuper de l'ordonnancement mais juste de la surcharge (Guerriero et Guido, 2011) • Moins de risques de recouvrement d'opérations pour un chirurgien (Fei, 2006)	• Augmente le taux de remplissage horaire (Guerriero et Guido, 2011) • Flexibilité (Fei, 2006)
Inconvénients	• Ne tient pas compte des préférences des chirurgiens (Chaabane et al., 2007) • Peut mener à des « dysfonctionnements », sous-utilisations, dépassements horaires (Chaabane et al., 2007)	• La construction du plan directeur influence beaucoup le programme (Guerriero et Guido, 2011 ; Fei, 2006) • Rigidité en termes de volume horaire (Fei, 2006) • Perte de flexibilité en termes de charge de travail (Fei, 2006)	• Modification dans des délais courts (Guerriero et Guido, 2011) • Nécessite une grande coordination entre la demande des chirurgiens et la planification (Fei, 2006)

Tableau 2 : Comparatif des avantages et inconvénients des méthodes de programmation

3.4 Les niveaux de décision

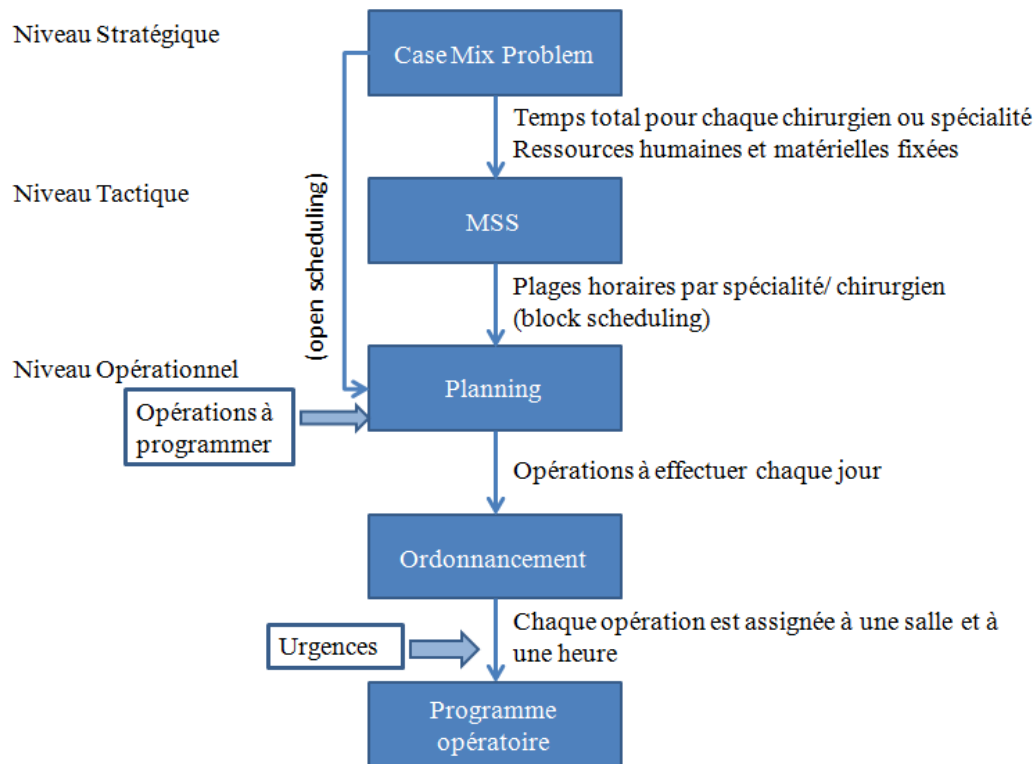


Figure 5 : Les niveaux de décision

Les décisions prises concernant le bloc opératoire peuvent être classées en trois différents niveaux décisionnels : les niveaux stratégique, tactique et opérationnel. Guerriero et Guido (2011) précisent que les niveaux ne sont pas cloisonnés et ont un impact les uns sur les autres. Ainsi, le résultat d'un niveau « *output* » est souvent la base « *input* » du niveau suivant. La figure 5 identifie quels sont généralement ces *inputs* et *outputs*. Elle indique aussi à quels moments viennent s'ajouter les opérations à programmer ainsi que les urgences. Par ailleurs, cette figure indique une distinction qui peut être faite entre l'*open scheduling* et le *block scheduling*. En effet, la première technique ne passera pas par l'établissement d'un *Master Surgical Schedule* (MSS) et définira directement le planning.

- Niveau stratégique : Pour Guerriero et Guido (2011), ce niveau peut être associé au « *case mix planning problem* » (p. 93). Il s'agit alors de définir le temps total qui sera accordé à chaque chirurgien ou groupe de chirurgiens. Ce temps sera généralement calculé par semaine ou selon une rotation de deux semaines. Pour Hans et al. (2012), c'est à ce niveau que se décide le redimensionnement des ressources humaines et matérielles, comme le nombre de lits ainsi que l'implémentation de nouvelles techniques.
- Niveau tactique : Selon Guerriero et Guido. (2011), c'est à ce stade que le « *Master Surgical Schedule* » est établi. Il permet de répartir le temps total alloué à chaque groupe ou chirurgien en plages horaires. Le MSS est utilisé en *block scheduling* et en *modified block scheduling*. Ce dernier est généralement établi une ou deux fois par an. Hans et al. (2012) précisent que cela doit être fait en respectant les décisions du niveau stratégique.
- Niveau opérationnel : La planification s'effectue au fil du temps. Lorsque le patient consulte le chirurgien, ce dernier fixe une date d'opération. La date peut être fixée de plusieurs mois à l'avance jusqu'à la semaine précédant l'opération. L'ordonnancement quant à lui, est généralement effectué le vendredi pour toutes les opérations devant se dérouler la semaine suivante. L'établissement du programme opératoire s'effectue donc en deux étapes : la planification et l'ordonnancement. Guerriero et Guido (2011) précisent que la construction du programme opératoire n'est pas simple en raison du nombre et des types d'acteurs impliqués, à savoir, les chirurgiens, les anesthésistes, les infirmiers. Ces derniers ont des objectifs qui peuvent se révéler conflictuels. Des contraintes matérielles peuvent aussi compliquer l'ordonnancement si les ressources sont limitées.

3.5 Les perturbations

Beaucoup d'auteurs se rejoignent pour dire que les incertitudes propres aux soins de santé sont l'un des facteurs les plus importants dans la programmation opératoire (Cardoen et al., 2010 ; Guerriero et Guido, 2011). Les phénomènes aléatoires rendent encore plus complexe la gestion des blocs opératoires (Combes et al., 2008 b). Ne pas prendre en considération ces éléments peut avoir diverses répercussions comme des dépassements horaires, des temps d'attente plus grands ou des reports d'interventions prévues (Aniba et Jebali, 2011).

Rossi (2003)⁹ mentionné par Hammami et al. (2007) a différencié deux types de perturbations : les aléas et les incertitudes.

3.5.1 Les aléas

Rossi (2003)¹⁰ mentionné par Hammami et al. (2007), prétend que les aléas « sont les événements de type discret qui entraînent des modifications dans le modèle lui-même » (p.96). Hammami et al. (2007) énoncent trois aléas majeurs.

Premièrement, les modifications effectuées par les chirurgiens en modifiant le programme opératoire et ce, en changeant les patients programmés. Les auteurs indiquent que l'hôpital peut mettre en place des règles strictes pour limiter celles-ci aux cas justifiés.

Deuxièmement, « l'arrivée des urgences » (p.97) : Guerriero et Guido (2011) énoncent aussi que les urgences peuvent être ordonnées selon leurs gravités en différents degrés. En effet, il faut faire la distinction entre les urgences vitales et non-vitales. Les premières devront être traitées le plus rapidement possible, les autres auront un délai plus important. Cependant, une classification plus poussée peut être envisagée. Hammami et al. (2007) mentionnent la classification de Dexter et al. (2001) en quatre degrés d'urgence ; le degré 3 représentant les urgences vitales et le degré 2, celles qui doivent être faites le jour de l'arrivée. Le premier degré est celui des urgences qui peuvent attendre 24h et enfin le degré 0 est utilisé pour les urgences qui doivent être insérées dans le programme de la semaine en cours. Pour Guerriero et Guido (2011), deux techniques peuvent être utilisées pour gérer les urgences : soit leur réserver une ou plusieurs salles opératoires, soit les intercaler entre les patients déjà programmés. Les auteurs mentionnent Wullink et al. (2007)¹¹ pour affirmer que la deuxième proposition est la plus efficace.

Troisièmement, l'état du patient peut rendre l'opération impraticable et engendrer le report de celle-ci.

⁹ Rossi, A. (2003). *Ordonnancement en milieu incertain, mise en oeuvre d'une démarche robuste*. Thèse de Doctorat en automatique et productique, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble

¹⁰ Rossi, A. (2003). *Ordonnancement en milieu incertain, mise en oeuvre d'une démarche robuste*. Thèse de Doctorat en automatique et productique, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble

¹¹Wullink, G., Van Houdenhoven, M., Hans, E., van Oostrum, J., van der Lans, M., & Kazemier, G. (2007). Closing emergency operating rooms improves efficiency. *Journal of Medical System* 31, 543–546.

3.5.2 Les incertitudes

D'après Rossi (2003)¹² mentionné par Hammami et al. (2007), les incertitudes sont des « imprécisions qui affectent les mesures physiques et les erreurs qui découlent de la différence entre l'estimation prévisionnelle d'une grandeur et sa valeur effective » (p.96). Hammami et al. (2007) distinguent quatre types d'incertitudes.

Premièrement, les durées chirurgicales ne sont pas connues à l'avance et peuvent fortement varier selon le profil du patient (âge, sexe,...), le type d'anesthésie pratiquée et le chirurgien (son expérience,...). Selon Prasanna Devi et al. (2012), la durée de séjour influe sur de nombreux facteurs tels que la planification des chirurgies ainsi que des ressources humaines. Pour effectuer un ordonnancement optimal, il faudrait connaître avec précision, la durée des opérations. Plusieurs recherches se sont attaquées à cette estimation afin de prédire au mieux les durées. Aniba et Jebali (2011) énoncent quatre méthodes pour estimer les durées :

- 1) Se baser sur les historiques et la connaissance des acteurs. Cependant, Beaulieu et al. (2012) indiquent qu'un nombre considérable de données sont nécessaires, notamment pour assurer un nombre suffisant de cas pour chaque opération. De plus, même en répondant à ce critère, la variabilité des durées ne diminue pas de manière significative.
- 2) Se baser sur les moyennes,
- 3) Se baser sur d'autres hôpitaux,
- 4) Estimer au travers de distributions statistiques. Par exemple, la loi log-normal (Dexter, 1996), Pearson 3 (Combes et al., 2008 a).

Combes et al. (2008 b) ont quant à eux, proposé une approche basée sur l'exploitation des bases de données et des méthodes de *Data Mining*. Deux méthodes ont été mises en évidence : les réseaux de neurones et les ensembles approximatifs. La première méthode consiste à multiplier une série d'*inputs* par des poids, les faire transiter dans un ou plusieurs neurone(s) afin d'en obtenir un *output*. Chaque neurone est constitué d'une fonction d'activation permettant le calcul de l'*output*. Elle est elle-même constituée d'une fonction de combinaison et une fonction de transfert. L'*output* sera comparé à la valeur réelle sur l'échantillon test afin d'adapter au besoin le réseau de neurones. (Meskens 2013 a) La

¹² Rossi, A. (2003). *Ordonnancement en milieu incertain, mise en œuvre d'une démarche robuste*. Thèse de Doctorat en automatique et productique, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble

deuxième méthode dite des ensembles approximatifs permet d'avoir un résultat sous forme de règles de type « si... alors... ».

Gomes et al. (2012) proposent une estimation sur base d'une régression linéaire, la variable dépendante « y » représentant la durée de l'opération. Les variables indépendantes « x » constituent quant à elles, l'ensemble des facteurs pouvant influencer la durée.

Deuxièmement, « le chemin imprécis des patients » (p.96) reste imprécis. Après une opération, le patient peut être dirigé en salle de réveil ou aux soins intensifs où il mobilisera un lit. Ce choix qui s'opère en fonction de l'état du malade peut avoir des répercussions sur le programme opératoire (Hammami et al., 2007).

La troisième incertitude réside dans « le nombre des types d'interventions » (p.96). Ce point repose sur la classification des patients et des processus. Sur base de la classification *Diagnosis-Related Group (DRG)*, un type d'intervention est défini par l'auteur comme faisant partie « des interventions partageant la même spécialité, utilisant les mêmes ressources et ayant la même durée » (p.96).

Quatrièmement, « la demande hebdomadaire des chirurgiens » (p.96) est elle-aussi incertaine. Une grande variation de celle-ci aura des répercussions surtout en allocation préalable des plages pouvant mener à des sur et sous-utilisations.

Enfin, une dernière incertitude peut être mise en avant. Il s'agit de la durée de séjour des patients. Selon Li et al. (2013), elle a une influence sur le contrôle des coûts médicaux et sur le management des ressources. Selon eux, elle pourrait même être considérée comme un indicateur de performance. Connaître cette dernière avec le plus de précision possible permet d'effectuer une bonne planification des patients. En effet, la capacité des services est une contrainte pour la programmation. La connaissance de cette donnée permet un nivellement de l'occupation des lits et réduit le risque de surcapacité des services. Pour le patient, cette connaissance aura divers impacts. Il aura moins de risques d'être affecté à un service qui ne correspond pas à sa pathologie ou encore une annulation de son intervention par manque de lits. L'incertitude autour de la durée de séjour a donné lieu à de nombreuses recherches afin de pouvoir la prédire au mieux. Dans la réalité, différents facteurs vont influencer la durée de séjour tels que la maladie, le traitement, les caractéristiques du patient, ... (Li et al., 2013). Différentes méthodes ont été utilisées pour s'approcher de la durée réelle...

- 1) Une prédiction par les moyennes. Marshall et al. (2005) mentionnent que cette technique est souvent utilisée parce qu'elle est facile à calculer. Cependant, les auteurs émettent des réserves concernant sa fiabilité notamment à cause du caractère biaisé des données.
- 2) Une prédiction par les modèles probabilistes tels que les modèles de Markov qui modélisent les mouvements de patients dans le système, les modèles utilisant les distributions de type phase qui détermine la durée avant qu'un événement se produise. (Marshall et al., 2005)
- 3) Une estimation par le *Data Mining*. Comme pour l'estimation de la durée d'une chirurgie, l'intelligence artificielle peut être utilisée pour estimer la durée de séjour. L'analyse d'une base de données permettra de déceler des relations parfois insoupçonnées et de modéliser les résultats afin de prédire la durée de séjour. Li et al. (2013) ont réalisé un réseau de neurones avec back propagation pour estimer au mieux les durées.

4 Notre problématique

L'objectif général est d'améliorer la gestion du bloc opératoire. Chaabane et al. (2007) indiquent trois manières de le faire : « reconfigurer les blocs opératoires, améliorer les systèmes d'information ou encore optimiser les programmes opératoires » (p.18). Comme mentionné précédemment, plusieurs techniques sont possibles pour optimiser les programmes opératoires. Dans le cadre de ce travail, nous nous focaliserons sur la partie « planification et ordonnancement des opérations ». Ce problème est connu comme étant un problème « NP-difficile », ce qui signifie qu'il n'existe pas d'algorithme polynomial qui assure une solution optimale en un temps raisonnable. Le nombre de variables et de contraintes à prendre en compte rendent le problème des plus complexes. Dès lors, l'objectif est de trouver un équilibre entre le temps de calcul et la qualité de la solution obtenue. Notre problème sera élaboré en deux parties : une partie planification et une partie ordonnancement ; l'*output* du modèle de planification servant d'*input* pour la deuxième partie concernant l'ordonnancement.

Dans un premier temps, le modèle mathématique permettra de répondre à deux questions que se posent quotidiennement les gestionnaires à savoir : la décision du jour d'opération pour chaque patient et l'affectation de ce dernier dans un service pour chaque jour durant son hospitalisation. L'horizon de planification pour les jours d'opération sera de dix jours.

Plusieurs objectifs seront considérés. La proximité entre le service dans lequel le patient est affecté et celui dans lequel il aurait dû être en fonction de sa pathologie, ses préférences pour les jours d'opération, la sous et la surutilisation des chirurgiens et enfin la sous-utilisation des services. Plusieurs contraintes seront aussi prises en considération comme la capacité des services et les dates d'opération au plus tôt et au plus tard pour chaque patient. La taille du problème le nécessitant, cette partie sera solutionnée de manière approximative au travers d'une heuristique.

Une fois la décision des jours d'opération faite par le modèle, l'ordonnancement sera effectué de manière à obtenir pour une journée, un programme opératoire complet. Une analyse de l'impact de l'incertitude sera réalisée sur cette base.

5 Conclusion

Pour résoudre le paradoxe d'une diminution de moyens combinée à une augmentation de la demande, de nombreux hôpitaux cherchent à solutionner cette équation complexe. Dans cette partie, nous avons montré la place centrale du bloc opératoire dans l'activité d'un hôpital. Ce dernier est générateur de coûts mais aussi de revenus. Bien que pouvant être fortement impacté par des perturbations, sa gestion reste une des clés pour l'amélioration de la situation des hôpitaux.

L'accroissement de l'intérêt du bloc opératoire a mené à une importante littérature sur le sujet. Dans ce travail, le choix a été fait de se concentrer sur la planification et l'ordonnancement des opérations. De nombreux modèles mathématiques ont vu le jour pour apporter des améliorations à ce problème connu comme étant complexe. Un état de l'art sera effectué dans la deuxième partie.

Partie 2 : Etat de l'art

1 Introduction

Comme énoncé précédemment, la littérature est abondante sur le sujet. Cardoen et al. (2010) ainsi que Guerriero et Guido (2011) ont déjà fourni une revue de la littérature reprenant les articles jusque 2010 pour le premier et 2011 pour le second. Van Huele et Vanhoucke (2014) ont, sur base de ces deux revues de littérature, mis en évidence les objectifs et contraintes les plus souvent utilisés. En ce qui concerne les objectifs, ils mettent en avant que le dépassement horaire du bloc opératoire et le temps d'attente des patients sont les plus utilisés. Par rapport aux contraintes, le nombre de lits disponibles dans les unités de soins et la capacité horaire des salles d'opérations sont les plus mentionnés (Van Huele et Vanhoucke, 2014). Une comparaison avec la revue de la littérature de Cardoen et al. (2010) sera opérée au point 5. Dans cette section, nous nous intéresserons donc aux articles postérieurs à 2010. Les études portent soit sur la planification soit sur l'ordonnancement ou encore sur les deux, chacune cherchant à optimiser une ou plusieurs fonctions objectifs en tenant compte d'un ensemble de contraintes. Comme mentionné par Cardoen et al. (2010), deux types de contraintes existent : les contraintes dites « *hard* », qui ne peuvent être violées, et les contraintes dites « *soft* », souvent prises en compte dans la fonction objectif et qui elles, peuvent être relâchées. Les méthodes de résolution, quant à elles, peuvent être classées en deux catégories : les méthodes exactes et les méthodes approchées, souvent basées sur des heuristiques.

Cette revue de littérature a été organisée comme suit en fonction des problèmes traités : planification, ordonnancement et ceux qui combinent les deux. A la fin de chaque problème traité, un résumé des éléments pris en compte par le modèle est proposé. Une prise en compte ne veut pas dire que ces éléments sont imposés.

2 La planification

2.1 Fonctions objectifs

Trois fonctions objectifs ont pu être dégagées des modèles de planification : la minimisation des coûts, la minimisation des pénalités ainsi que maximisation du nombre de lits utilisés avec une utilisation minimale.

- La minimisation des coûts (A) : Wang et al. (2014 a) définissent la fonction de coût comme étant la somme des coûts comprenant les coûts fixes et les coûts de surutilisation (Q). Les coûts fixes sont liés au nombre de salles ouvertes. Aniba et Jebali (2011) minimisent les coûts liés à la « surutilisation, la sous-utilisation, les coûts d'attente et les coûts de report » (p.4). Les deux premiers éléments font référence à l'utilisation générale du bloc opératoire (Q). Les deux derniers coûts sont liés à un coût par jour d'hospitalisation. Le premier prend en compte les jours entre la date d'admission (I) et celle de l'intervention. Le coût de report s'exprime en nombre de jours entre la date d'opération maximale et la date d'opération effective. Ce dernier sera dès lors activé, si le patient est opéré au-delà de la date maximale d'opération et sera pondéré par le coût d'une journée d'hospitalisation. Aringhieri et al. (2015 b) cherchent à minimiser les coûts liés à l'attente d'un patient entre sa date d'admission (I) et la date d'opération. Ce temps et ces coûts sont pondérés par le degré d'urgence du patient (F). Astaraky et Patrick (2015) décrivent leur fonction coût comme la combinaison entre différents coûts associés aux délais de mise au programme, au dépassement du temps d'attente recommandé, et au dépassement de capacité dans les salles et dans les unités. La surcapacité dans les unités est calculée sur base des durées de séjours (K).
- La minimisation des pénalités « dues aux délais pour servir les patients » (B) correspond à la fonction objectif de Addis et al. (2014). Elle prend en considération « le degré d'urgence du patient (F), le temps d'attente des patients planifiés ou non, la violation de la date limite d'opération (H) et le retard des patients ». Plus le degré d'urgence du patient sera élevé, plus sa priorité sera jugée importante et plus la pénalité sur les délais sera élevée.
- La maximisation du nombre de lits utilisés avec une utilisation minimale (C) : en utilisant cette fonction objectif, Aringhieri et al. (2015 b) ont cherché à niveler l'activité des lits post-opération. Pour les auteurs, arriver à réduire les pics d'activités va mener à une meilleure qualité de soins pour le patient.

2.2 Contraintes spécifiques

- La capacité du bloc opératoire (D) : Elle correspond au nombre de minutes attribuées aux salles d'opération. Souvent, cette contrainte limitera le nombre d'opérations par salle. Addis et al. (2014), Aniba et Jebali (2011), Aringhieri et al. (2015 a), Aringhieri

et al. (2015 b), Astaraky et Patrick (2015) ainsi que Wang et al. (2014 a) ont tous mis la capacité du bloc en contrainte.

- Le dépassement de la capacité du bloc opératoire (E) : En général, pour avoir plus de flexibilité dans le programme opératoire, un dépassement horaire est autorisé. Certains auteurs ont intégré ce paramètre dans leur modélisation. Parmi les modèles que nous étudions, tous autorisent le dépassement de cette capacité qui sera sanctionnée par un coût. Addis et al. (2014) limitent la somme des dépassements horaires globaux. Le dépassement autorisé pourra être réparti entre les différentes salles avec, pour contrainte, que la somme soit inférieure à ce qui est autorisé. Wang et al. (2014 a) et Aniba et Jebali (2011) imposent une limite, mais cette fois, par salle opératoire. Dès lors, si une salle n'utilise pas ce dépassement, celui-ci ne pourra pas être utilisé par une autre en plus de celui qui lui était accordé. Imaginons un bloc opératoire composé de deux salles. Chaque salle a droit à un dépassement de 30 minutes. Si la première salle n'utilise pas ses 30 minutes supplémentaires, la deuxième peut alors dépasser de 60 minutes. Astaraky et Patrick (2015) autorisent le dépassement mais le pénalisent par un coût dans leur fonction objectif.
- La priorité des patients (F) : Certaines opérations doivent être réalisées rapidement, d'autres peuvent attendre plusieurs semaines. Ce paramètre est caractérisé par le degré de priorité du patient. Si certains auteurs comme Addis et al. (2014) et Aringhieri et al. (2015 a) le prennent en compte dans le calcul de leur fonction objectif, d'autres comme Aringhieri et al. (2015 b) l'intègrent comme une contrainte. En effet, ils ont assigné, à chaque patient, un degré de priorité. Dans leur modèle de planification, ils imposent que chaque patient ayant le degré de priorité le plus élevé dans ceux qui doivent encore être planifiés, le soit avant de pouvoir intégrer ceux du degré inférieur. Par jour, ils demandent que le nombre de patients à faible degré de priorité soit inférieur au nombre de patients à haut degré de priorité.
- La date au plus tôt (G) : Astaraky et Patrick (2015) l'utilisent en définissant le nombre de jours nécessaires avant la programmation du patient. Ce délai est différent en fonction du patient. Il peut être nul pour les patients non-électifs (L). Pour les patients électifs, il peut traduire le besoin de temps pour effectuer des examens préopératoires.
- Date limite d'opération du patient (H) : En fonction des caractéristiques du patient et de l'intervention, le chirurgien peut déterminer une date avant laquelle l'opération doit

être réalisée. Celle-ci devra être prise en compte lors de la planification de l'opération. Wang et al. (2014 a) imposent que tous les patients sur la liste d'attente, soient assignés. Tous ont donc la même date limite d'intervention à savoir le dernier jour de l'horizon temps pris en compte. Aniba et Jebali (2011) demandent une programmation dans le respect de la date limite calculée sur base du jour d'hospitalisation du patient concerné (I), la date d'hospitalisation étant fournie au patient à l'avance.

- La disponibilité des lits dans l'unité de soins (J) : Comme mentionné dans la partie « bloc opératoire », la majorité des patients retourneront dans leur unité de soins après leur passage au bloc opératoire. Le nombre de lits étant limité, cela constitue une contrainte pour la planification. Aringhieri et al. (2015 b) ont intégré cette contrainte dans leur modèle de planification. De plus, ils utilisent des lits assignés à une spécialité particulière, ce qui rend le planning encore plus contraignant. Pour calculer le nombre de lits disponibles, ils se basent sur le nombre total de lits par spécialité ainsi que la durée de séjour des patients programmés (K).
- Les urgences (L) : Comme mentionné précédemment, deux types de patients peuvent être distingués : les patients urgents et les patients non-urgents. Tous les modèles mathématiques n'intègrent pas la deuxième catégorie. Aniba et Jebali (2011) incluent les patients urgents dans leur modèle. Pour ces derniers, ils imposent une prise en charge le jour même. Wang et al. (2014 a) les prennent aussi en considération en leur réservant une partie des plages horaires disponibles.
- Le caractère variable des durées opératoires (M) : Pour planifier les opérations, leurs durées doivent être déterminées. Elles peuvent l'être de manière fixe ou de manière variable. Dans les modèles d'Addis et al. (2014) ainsi que Wang et al. (2014 a), le dépassement horaire est évalué sous forme de scénario en tenant compte du caractère variable des durées opératoires.
- Le caractère variable de la liste d'attente (N) : Dans le modèle écrit par Astaraky et Patrick (2015), les listes d'attente sont soumises à deux caractères variables. Premièrement, celui de l'arrivée des patients dans celle-ci : les nouvelles arrivées suivent une distribution de la loi de Poisson. Deuxièmement, celui des patients qui quittent la liste d'attente : ce phénomène pouvant être dû à des complications ou au décès des patients. Les patients qui sortent de la liste, suivent quant à eux, une loi binomiale.

- Risque d'annulation d'une opération (O) : Wang et al. (2014 a) imposent que le risque pour chaque planning soit inférieur à β . Ils définissent qu'une opération sera annulée si elle est en dehors de la capacité maximale, c'est-à-dire la somme de la capacité régulière et du dépassement maximal accordé.
- Le nombre de lits occupés le week-end (P) : Le week-end, les hôpitaux doivent faire face à moins de ressources disponibles notamment pour les ressources humaines. Plus le nombre de patients sera élevé, plus il sera difficile de leur donner toute l'attention qu'ils requièrent. Pour réduire le nombre de patients le week-end, Aringhieri et al. (2015 a) définissent le nombre de lits qui peuvent être occupés le week-end. Ce calcul est basé sur la durée de séjour des patients (K).

2.3 Méthodes de résolution

Addis et al. (2014) proposent une approche d'optimisation robuste reprise de Bertsimas et Sim (2004)¹³. Wang et al. (2014 a) ont quant à eux, utilisé une heuristique basée sur la génération de colonnes pour résoudre leur programmation en nombres entiers. Les auteurs précisent que leur modèle est stochastique. Aniba et Jebali (2011) ont écrit un modèle stochastique qu'ils ont approximé par un modèle déterministe. Ils ont ensuite développé une heuristique. Aringhieri et al. (2015 a) ainsi que Aringhieri et al. (2015 b) ont utilisé une métaheuristique, la recherche à voisinage variable, afin de résoudre leur problème. En ce qui concerne Astaraky et Patrick (2015), ils ont formulé leur modèle comme un processus de décision markovien. Ce processus est caractérisé par des états, des actions et des transitions. A chaque instant, il y a une probabilité déterminée que le système évolue vers les états définis. Pour la planification, les décisions mèneront à la programmation de l'opération du patient ou à l'ajournement de la décision.

¹³ Bertsimas, D., Sim, M., (2004). The price of robustness, *Operation Research* 52(1), 35–53.
doi :10.1287/opre.1030.0065

2.4 Résumé de la littérature des modèles de planification

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Addis et al. (2014)																		
Aniba et Jebali (2011)																		
Aringhieri et al. (2015 a)																		
Aringhieri et al. (2015 b)																		
Astaraky et Patrick (2015)																		
Wang et al. (2014 a)																		

Tableau 3 : Résumé des modèles de planification

Le tableau 3 donne un aperçu des modèles traités dans la section « planification ». Les cases remplies indiquent que le modèle correspondant prend en compte la caractéristique mentionnée. Le tableau 4 reprend quant à lui la légende du tableau 3.

Colonne	Légende
A	La minimisation des coûts
B	La minimisation des pénalités dues aux délais pour servir les patients
C	Le nivellement de l'occupation des lits
D	La capacité des blocs opératoires
E	La possibilité de dépasser la capacité initiale du bloc opératoire
F	La prise en compte de la priorité des patients
G	La date au plus tôt
H	La date limite d'opération
I	La date d'hospitalisation du patient
J	Les disponibilités de lits au sein du service dans lequel le patient doit être assigné
K	La durée de séjour du patient
L	Les urgences
M	Le caractère variable des durées opératoires
N	Le caractère variable de la liste d'attente

O	Le risque d'annulation d'une opération suite à un dépassement de capacité trop important
P	Le nombre de lits qui seront occupés durant le week-end
Q	L'utilisation du bloc opératoire (sur et sous-utilisation)
R	L'utilisation de données réelles provenant d'un hôpital

Tableau 4 : Légende du tableau résumant les modèles de planification

Les colonnes de D jusque Q peuvent être, soit exprimées sous forme de contraintes, soit être prises en compte dans la fonction objectif.

3 L'ordonnancement

3.1 Fonctions objectifs

- Minimisation des coûts (A) : Comme mentionné précédemment, les coûts associés au bloc opératoire représentent 10 % des coûts d'un hôpital. Un bon ordonnancement des opérations peut aider à limiter les gaspillages de temps et donc limiter les coûts. Plusieurs types de coûts peuvent être pris en compte dans les différents modèles. Zhao et Li (2014) minimisent les coûts fixes et les coûts de dépassements horaires associés au bloc opératoire. Pulido et al. (2014) minimisent les coûts associés aux dépassements horaires, aux temps d'attente des chirurgiens (W) et aux moments non-utilisés (B). Min et Yih (2010) décomposent la fonction de coût en deux parties : un « coût patient » en lien avec le caractère prioritaire de ce dernier (M) et un coût de dépassement horaire. Su et al. (2011) ont intégré un coût fictif dans leur fonction objectif. Il correspond à la préférence d'un chirurgien pour une salle d'opération. Plus les opérations de celui-ci se dérouleront dans une salle qui a ses préférences, plus le coût sera faible.
- Minimiser les temps morts (B) : Ghazalbash et al. (2012) et Su et al. (2011) cherchent eux aussi à maximiser l'utilisation des salles. Leurs fonctions objectifs sont simplement formulées différemment puisqu'ils essayent de minimiser les temps morts. Comme mentionné précédemment, Pulido et al. (2014) ont aussi intégré cette notion de temps mort dans leur fonction de minimisation des coûts.
- Minimisation du temps d'attente des personnes prises en charge (C) : La réduction du temps d'attente pour les personnes qui doivent être opérées, permet d'augmenter le confort et la satisfaction du patient, notamment pour celles qui doivent rester à jeun

avant leur opération. Saadouli et al. (2015) minimisent les sommes des temps d'attente de tous les patients programmés.

- Minimiser le «*Break in interval (BII)*» (Van Essen et al, 2012, p.35) maximal (D): Les auteurs définissent le BII comme étant l'intervalle entre deux fins d'opérations et ce, toutes salles d'opération confondues. Leur point de réflexion étant que les opérations urgentes viennent s'intercaler entre deux opérations programmées. Il faut donc que le temps d'attente pour le faire soit minimal. Par cette fonction objectif, les auteurs tiennent aussi compte des patients urgents (T).
- Minimiser le *makespan* (E), est l'objectif premier de Meskens et al. (2013 b). Le *makespan* correspond au temps nécessaire pour accomplir le programme opératoire. Il correspond au temps entre le premier patient et le moment où le dernier patient quitte la salle d'opération. Saadouli et al. (2015), Su et al. (2011) ainsi que Ghazalbash et al. (2012) ont aussi comme fonction, la minimisation du *makespan* le plus long de la journée. Saadani et Guinet (2012) qui utilisent aussi cet objectif, précisent que cela permet également une minimisation des temps d'attente.
- Minimiser le nombre d'heures supplémentaires (F) : Si la capacité horaire prévue du bloc opératoire est dépassée, elle peut entraîner des heures supplémentaires pour le personnel. Ces dernières auront un coût pour l'hôpital et entraîneront une surcharge de travail pour le personnel. Meskens et al. (2013 b) ont donc inclus, dans leur modèle, une fonction objectif afin de les minimiser.
- Maximiser le nombre de patients opérés dans les temps (G) : Cette fonction objectif vise à respecter au maximum, les dates limites d'opération (X). En effet, pour effectuer un ordonnancement optimal, certains patients doivent être décalés dans le temps. Cependant, cela peut induire un dépassement de la date limite et des conséquences médicales sur le patient. Stuart et Kozan (2012) ont utilisé cette fonction objectif pour leur modèle et cherchent à maximiser le nombre de patients opérés dans le timing adéquat, en fonction de leur date limite pondérée de leur pénalité, s'ils ne sont pas traités. Par cette pénalité, ils prennent en compte la priorité du patient (M).
- Maximiser les affinités entre les intervenants (H) : Prendre en compte cet élément permet d'augmenter la satisfaction du personnel au sein du bloc opératoire. Meskens et al. (2013 b) l'ont incorporé dans leur modèle au travers d'une fonction objectif.
- Maximiser l'utilisation des salles d'opération (I) : L'utilisation des salles d'opération est considérée comme un indicateur de performance dans le monde hospitalier. En

effet, lorsqu'une salle d'opération est ouverte, elle mobilise un ensemble de ressources, notamment humaines, pour la journée. Il faut dès lors, les utiliser au mieux en remplissant les plages horaires. Saadouli et al. (2015) cherchent à maximiser ce temps d'occupation de la salle qu'ils calculent grâce aux durées des opérations.

3.2 Contraintes

- Capacité du bloc opératoire (J) : Zhao et Li (2014) définissent la capacité du bloc opératoire comme étant la somme des heures régulières et des heures supplémentaires soumises à un coût variable supplémentaire. Min et Yih (2010), Meskens et al. (2013 b), Pulido et al. (2014), Stuart et Kozan (2012), Saadouli et al. (2015) ainsi que Ghazalbash et al. (2012) ont eux-aussi défini un nombre de minutes d'ouverture régulières pour chaque salle d'opération. Saadouli et al. (2015) n'ajoutent les patients au programme que si la capacité des salles n'est pas dépassée.
- Possibilité de dépasser la capacité initiale (K) : Par leur définition de la capacité du bloc opératoire, Zhao et Li (2014) permettent de dépasser le volume horaire en tenant compte des heures supplémentaires. Cependant, ce nombre d'heures supplémentaires est limité par salle d'opération. Ceci donne donc un total d'heures maximal par salle. Meskens et al. (2013 b), Pulido et al. (2014) ainsi que Min et Yih (2010) autorisent aussi les dépassements horaires à l'aide des heures supplémentaires. Stuart et Kozan (2012), Saadouli et al. (2015) ainsi que Ghazalbash et al. (2012) quant à eux, ne donnent pas la possibilité de dépasser le volume initialement déterminé par salle d'opération.
- Bloc opératoire dédié (L) : Pour des raisons de superficie, de disposition ou encore de matériel fixe, certaines opérations ne peuvent se dérouler que dans des salles qui y sont prédestinées. Cette contrainte a été prise en compte par Zhao et Li (2014) qui imposent qu'une chirurgie se déroule dans une salle correspondant à ses spécificités.
- Le caractère prioritaire de certains patients (M) : Certaines catégories de patients peuvent avoir un caractère plus prioritaire dans le programme opératoire et seront programmées au début de la journée. En général, ce sont les enfants, les personnes allergiques au latex ou encore les personnes âgées qui en bénéficient. Ghazalbash et al. (2012) ont inclus ce paramètre dans leur modèle en indiquant s'il s'agit d'un patient qui doit être traité en début de journée ou non. Meskens et al. (2013 b) ont intégré trois degrés de priorités en regroupant les patients dans trois sous-ensembles. Dans ces sous-ensembles, les auteurs font la distinction entre les patients infectés et les autres

(N). Les patients infectés seront de priorité faible dans la journée et placés en fin de programme.

- Disponibilité des ressources humaines (O) : Meskens et al. (2013 b) tiennent compte des préférences des chirurgiens, des anesthésistes ainsi que des infirmières pour assurer la disponibilité d'un nombre suffisant d'entre eux durant les différents moments de la journée.

Ghazalbash et al. (2012) ont écrit leur modèle sur base d'un hôpital universitaire. Certaines contraintes spécifiques ont, dès lors, été ajoutées telles que la prise en compte des disponibilités des assistants et ce, en plus de la contrainte concernant la disponibilité des chirurgiens. Le modèle prend donc en compte d'autres ressources humaines comme les assistants (P).

- Prise en compte du matériel (Q) : Le bloc opératoire est un lieu de consommation de ressources. Le stock disponible va influencer le programme opératoire. Une rupture de stock peut avoir des conséquences importantes. Ghazalbash et al. (2012) ainsi que Meskens et al. (2013 b) ont pris cet élément en compte en déterminant pour chaque matériau, un nombre d'utilisations qui ne peut être dépassé. Cependant, Ghazalbash et al. (2012) prennent en compte le temps de stérilisation des instruments qui seront à nouveau disponibles après cette durée.
- Matériel réutilisable (R) : Comme décrit dans la partie sur le bloc opératoire, certains matériaux peuvent être réutilisés et d'autres sont à usage unique. Cette distinction aura un effet sur le calcul de stocks disponibles. Dans leur module « matériel » Meskens et al. (2013 b) font la différence entre le matériel réutilisable et celui à usage unique. Les premiers seront à nouveau disponibles à la fin de l'intervention.
- La capacité de la salle de réveil ou des soins intensifs (S) : Min et Yih (2010) prennent en compte le nombre de lits disponibles au *Surgical Intensive Care Unit (SICU)* et ce, pour un horizon temps déterminé. Meskens et al. (2013 b) prennent aussi en compte les lits en salle de réveil. Les auteurs des deux modèles utilisent la durée prévue pour chaque patient en salle de réveil pour définir les disponibilités de lits. Pour Saadani et Guinet (2012), chaque patient qui passe par la salle d'opération ira directement dans un lit en salle de réveil. Les auteurs prennent, comme hypothèse, qu'il y a au minimum un lit en salle de réveil par salle d'opération.
- Les urgences (T) : Stuart et Kozan (2012) intègrent les patients non électifs dans leur modèle en les ajoutant à la liste des patients à programmer.

- Le caractère variable de la durée d'une opération (U) : Comme mentionné précédemment, la variabilité des durées opératoires et l'incertitude qui tourne autour de celles-ci peuvent avoir de nombreuses influences sur le programme opératoire. Min et Yih (2010), tout comme Pulido et al. (2014), ont inclus la variabilité des durées opératoires au travers de scénarii. Stuart et Kozan (2012) indiquent que les durées chirurgicales de leur modèle suivent une loi log-normal. La variance des durées est prise en considération pour déterminer la durée de la séquence.
- Le temps de changement entre les différentes chirurgies (V) : Par l'ajout d'une contrainte, Ghazalbash et al. (2012) ont intégré dans leur modèle, l'obligation qu'ont les hôpitaux d'effectuer un nettoyage supplémentaire après l'opération d'un patient infecté. Ceci entraînera un délai plus long avant l'entrée en salle du patient suivant. Pour permettre l'ajout de cette contrainte, les auteurs ont aussi dû faire la distinction entre les patients infectés et ceux qui ne le sont pas (N). Pulido et al. (2014) ont défini dans leur modèle, un temps de changement entre les opérations qui va varier en fonction du type d'opération. Les auteurs ont identifié deux temps différents : le temps de préparation et le temps de nettoyage. Zhao et Li (2014) identifient aussi un temps de changement entre les chirurgies. Celui-ci sera dépendant de la séquence dans laquelle les chirurgies sont réalisées. Le temps dépendra donc de la chirurgie avant le temps de changement et de celle qui suit.
- Le transport en amont et en aval (Y) : Pour passer le patient de sa chambre à la salle d'opération mais aussi pour aller en salle de réveil ou pour revenir dans sa chambre, le patient a besoin des brancardiers. Ceux-ci sont considérés comme une ressource et peuvent être un facteur limitant. L'indisponibilité de brancardier pour le transport d'un patient peut entraîner de nombreux retards et perturber l'organisation du bloc opératoire. Saadani et Guinet (2012) incluent le transport du patient vers la salle d'opération et de la salle d'opération vers la salle de réveil.

3.3 Méthodes de résolution

Zhao et Li (2014) ont utilisé un programme non linéaire mixte. Pulido et al. (2014), Meskens et al. (2013 b), Saadouli et al. (2015) ainsi que Ghazalbash et al. (2012) ont construit leur modèle linéaire en programmation mixte entière. Les premiers ont aussi formulé une heuristique et ont présenté une approche par décomposition. Meskens et al. (2013 b) ont résolu leur modèle en multiobjectif. Ils ont choisi de maximiser le *makespan* en premier lieu. Une fois la valeur optimale trouvée, elle a été placée en contrainte pour minimiser le nombre

d'heures supplémentaires. Enfin, le nombre d'heures supplémentaires a aussi été ajouté en contrainte pour maximiser les affinités entre les intervenants. Van Essen et al. (2012) ont exprimé leur problème comme un programme linéaire entier. Ce problème étant NP-difficile à partir de deux salles d'opération, ils l'ont solutionné au travers de différentes heuristiques. Stuart et Kozan (2012) ont formulé leur problème comme un « *single machine scheduling problem* » (p.400). Ils ont fait l'analogie avec un *Knapsack problem* et ont décidé de le résoudre par l'algorithme de *Branch and Bound*. Min et Yih (2010) ont proposé une approximation par moyenne d'échantillonnage. Su et al. (2011) ont utilisé un *Self-Organizing Feature map Algorithm SOMO*. L'algorithme fonctionne comme un réseau de neurones où la fonction objectif est utilisée comme fonction d'activation. Les *inputs* de chaque neurone correspondent à une solution réalisable. Saadani et Guinet (2012) ont formulé leur problème comme un *flow-shop* hybride à trois étages comprenant des cycles. Les trois ressources prises en compte que sont les brancardiers, les salles d'opération et les salles de réveil sont considérées comme étant des machines. Les auteurs ont ensuite proposé une heuristique pour solutionner leur problème.

3.4 Résumé de la littérature des modèles d'ordonnancement

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Ghazalbash et al. (2012)																										
Meskens et al. (2013 b)																										
Min et Yih. (2010)																										
Pulido et al. (2014)																										
Saadani et Guinet (2012)																										
Saadouli et al. (2015)																										
Stuart et Kozan (2012)																										
Van Essen et al. (2012)																										
Su et al. (2011)																										
Zhao et Li (2014)																										

Tableau 5 : Résumé des modèles d'ordonnancement

Le tableau 5 donne un aperçu des modèles traités dans la section « ordonnancement ». Le tableau 6 reprend la légende du tableau 5.

Colonne	Légende
A	Minimiser les coûts
B	Minimiser les temps morts dans le programme
C	Minimiser le temps d'attente des personnes prises en charge
D	Minimiser le « <i>Break in interval (BII)</i> » (Van Essen et al, 2012, p.35) maximal
E	Minimiser le makespan
F	Minimiser le nombre d'heures supplémentaires
G	Maximiser le nombre de patients opérés dans les temps prévus
H	Maximiser les affinités entre les intervenants
I	Maximiser l'utilisation des salles d'opération
J	La capacité des blocs opératoires
K	La possibilité de dépasser la capacité initiale du bloc opératoire
L	La prise en compte de bloc dédié. Nous parlerons de bloc dédié si certaines opérations ne peuvent se dérouler que dans certaines salles opératoires
M	La prise en compte de la priorité des patients
N	Le modèle différencie les patients infectés des autres
O	La disponibilité des ressources humaines (chirurgiens, anesthésistes, infirmières)
P	Le modèle inclut d'autres ressources humaines comme les assistants, les techniciens
Q	La prise en compte du matériel
R	La distinction entre les ressources réutilisables ou non
S	La capacité de la salle de réveil ou des soins intensifs (SICU)
T	Les urgences
U	Le caractère variable de la durée d'une opération
V	Le temps de changement entre les différentes chirurgies (un temps de préparation, un temps de nettoyage ou les deux)
W	Le temps d'attente d'un chirurgien
X	La prise en compte d'une date limite pour une opération
Y	Le transport en amont et en aval du patient
Z	L'utilisation de données réelles

Tableau 6 : Légende du tableau résumant les modèles d'ordonnancement

Les colonnes de J jusque Y peuvent être, soit exprimées sous forme de contraintes, soit être prises en compte dans la fonction objectif.

4 Planification et ordonnancement

Certains articles traitent à la fois de la planification et de l'ordonnancement. Ne pouvant être classés dans les deux premières sections, ils ont donc été regroupés. Deux types de modèles peuvent être distingués : ceux qui traitent le problème en deux problèmes distincts (Wang et al., 2014 b ; Bulgarini et al., 2014) et ceux qui ont établi un modèle intégrant les deux phases (Roland et al., 2010 ; Hashemi Doulabi et al., 2014 ; Van Huele et Vanhoucke, 2014 ; Marques et al., 2012). Lorsque les problèmes sont traités de manière distincte, l'*input* du modèle d'ordonnancement correspond à l'*output* du modèle de planification. L'ordonnancement sera donc fait sur base de ce qui a été décidé pour la planification. Si le problème est traité comme un problème unique, les décisions concernant le jour d'opération ainsi que la salle et l'heure sont prises au même moment. La figure 6 résume les deux possibilités en indiquant les *inputs* et *outputs*. La partie gauche du schéma illustre le cas où la planification et l'ordonnancement sont traités en séquences. La partie droite explique le cas où ils sont traités simultanément.

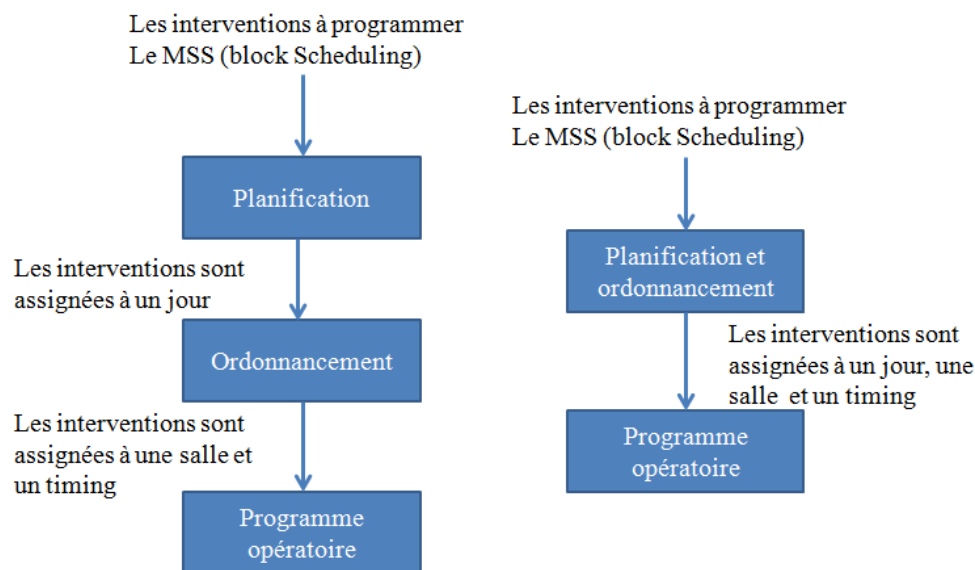


Figure 6 : Comparaison des modèles comprenant la planification et l'ordonnancement

4.1 Fonctions objectifs

- Minimisation des coûts (A) : Roland et al. (2010) optimisent une fonction composée des coûts induits par l'utilisation des salles d'opération et par le paiement des heures en dépassement horaire. Dans la deuxième phase d'ordonnancement, Wang et al. (2014 b) minimisent les coûts des salles d'opération (réguliers et coûts de dépassement) ainsi que les coûts liés à la salle de réveil.

Van Huele et Vanhoucke (2014) ont cherché à minimiser les coûts des heures supplémentaires pour les salles opératoires. Ils justifient leur fonction en indiquant que le coût d'une heure supplémentaire est supérieur au coût d'une heure régulière.

Fei et al. (2010) cherchent à minimiser les coûts associés aux heures d'ouverture non utilisées et aux dépassements horaires.

- Minimisation des pénalités (B) : Bulgarini et al. (2014) ont cherché à minimiser les pénalités associées, d'une part, au temps d'attente du patient entre sa demande d'intervention et son opération, au temps d'attente entre l'arrivée du patient et l'heure de l'intervention d'autre part, au temps supplémentaire d'utilisation des ressources (humaines et matérielles).
- Minimisation du temps d'attente des chirurgiens (C) : Les auteurs définissent les temps d'attente comme étant les temps morts entre deux chirurgies pratiquées par le même chirurgien. En effet, pendant ce temps, le potentiel du chirurgien n'est pas utilisé. Molina-Pariente et al. (2015) cherchent à minimiser le temps que les chirurgiens doivent attendre.
- Minimisation du nombre de jours dépassant la date limite d'opération (D) : Molina-Pariente et al. (2015) veulent minimiser les délais qui dépassent la date limite d'opération (L). Nous pouvons donc considérer qu'ils la prennent en compte sans pour autant imposer son respect.
- Maximisation de l'utilisation du bloc opératoire (E) : Hashemi Doulabi et al. (2014) ont comme objectif dans leur master problème issu de la génération de colonnes, de maximiser la somme des durées opératoires par plan choisi. Un plan étant défini comme l'ordonnancement pour une salle d'opération. Marques et al. (2012) cherchent également à maximiser l'utilisation du bloc opératoire. Ils ont défini l'occupation du bloc opératoire comme la somme des durées des opérations effectuées.
- Maximisation de la satisfaction du patient (F) : Pour la partie concernant la planification de leur modèle, Wang et al. (2014 b) ont décidé de maximiser la satisfaction du patient. Selon eux, plus le patient est dit « urgent », plus il est sensible à sa date d'opération. En outre, l'ensemble des patients préfèrent être opérés le plus vite possible. Ils ont donc construit leur fonction objectif en définissant le niveau de satisfaction du patient ; ce dernier étant dépendant de la date d'hospitalisation (V), de la date de l'intervention et de la date d'intervention au plus tard (L).

- Maximisation du nombre de patients planifiés (G) : Vijayakumar et al. (2013) maximisent le nombre de patients planifiés dans le respect de leur date limite pondérée de leurs priorités. La priorité des patients étant, dans ce cas, liée au type d'opération. Par exemple, celles liées à un cancer seront considérées comme ayant une haute priorité. Les auteurs prennent donc en compte la priorité de certains patients lors de l'ordonnancement (W).

4.2 Contraintes spécifiques

- Capacité du bloc opératoire (H) : Comme pour les modèles de planification et d'ordonnancement, les salles d'opération ont une durée d'ouverture régulière. Cette dernière aura une influence sur la programmation des patients. L'ensemble des auteurs repris définit la durée d'ouverture régulière des salles d'opération.
- Le dépassement de la capacité du bloc opératoire (I) : Pour donner plus de flexibilité à la programmation, des heures d'ouverture supplémentaires peuvent être autorisées. Certains modèles ont introduit cette flexibilité. La somme des durées opératoires doit être inférieure à la capacité du bloc augmentée du dépassement horaire (Bulgarini et al., 2014 ; Roland et al., 2010 ; Wang et al., 2014 b ; Van Huele et Vanhoucke, 2014 ; Fei et al., 2010).
- L'utilisation de salles d'opération dédiées (J) : Comme mentionné précédemment, l'équipement de certaines salles peut restreindre les possibilités quant aux interventions qui peuvent y être assignées. Roland et al. (2010), Wang et al. (2014 b), Molina-Pariente et al. (2015) de même que Bulgarini et al. (2014) ont inséré une contrainte qui autorise l'assignement des opérations uniquement dans les salles qui peuvent les accueillir.
- La date de début au plus tôt (K) et au plus tard (L) : Ces deux dates sont souvent une contrainte pour la programmation des opérations. La date limite est souvent liée à la pathologie du patient et ses caractéristiques. Une date au plus tôt peut être définie par exemple si le chirurgien attend encore des résultats d'analyses ou si des examens complémentaires doivent être réalisés. Certains modèles prennent les deux dates en compte et certains prennent uniquement la date limite en considération. Fei et al. (2010) de même que Wang et al. (2014 b) imposent que les opérations dont la date au plus tard est comprise dans l'intervalle du planning, soient programmées. Roland et al. (2010) ainsi que Van Huele et Vanhoucke (2014) imposent que l'opération se déroule entre la date au plus tôt et la date au plus tard. Hashemi Doulabi et al. (2014) ont

constitué deux ensembles d'opérations : celles qui doivent être obligatoirement intégrées dans le programme opératoire et celles qui sont optionnelles. Au travers de ces ensembles, ils donnent la possibilité que certaines opérations ne soient pas programmées. Les opérations obligatoires ont donc pour date limite, la fin de la période de planification. Marques et al. (2012) utilisent aussi différents degrés d'urgence pour les patients afin de leur assigner une date limite. Bulgarini et al. (2014) ont séparé les patients en trois catégories pour définir leur date limite d'intervention qui peut être de 30, 60 ou 90 jours.

- L'heure de début d'une opération (M) : Vijayakumar et al. (2013) prennent en compte d'une part, les difficultés du patient pour se rendre à l'hôpital et d'autre part, la nécessité d'effectuer des analyses le jour même. En effet, les patients ambulatoires viennent directement de leur domicile. Dès lors, ces derniers ne peuvent être programmés avant une heure au plus tôt préalablement définie.
- Les indisponibilités du patient pour une opération (N) : Marques et al. (2012) offrent la possibilité de prendre en compte des périodes où l'opération ne pourra pas avoir lieu.
- La disponibilité des ressources humaines (O) : Roland et al. (2010) prennent en compte les disponibilités des chirurgiens. Les opérations ne pourront commencer que dans une période de disponibilité de ce dernier. Cependant, les opérations pourront se clôturer en dehors la plage de disponibilités. En ce qui concerne les infirmières et les anesthésistes, leurs disponibilités en heures par jour sont prises en compte. Elles seront distribuées en temps presté pendant toute une opération ou sur une période déterminée d'une opération. Les auteurs autorisent donc certaines ressources à ne pas assister à l'ensemble de l'opération (P). Hashemi Doulabi et al. (2014) prennent en compte les préférences des chirurgiens pour définir les périodes où ils seront disponibles. Fei et al. (2010) tout comme Wang et al. (2014 b) ont aussi cette contrainte mais les auteurs ne précisent pas si cela se fait selon des préférences ou pas. Vijayakumar et al. (2013) prennent en compte la disponibilité des infirmières et des chirurgiens à un moment déterminé. Van Huele et Vanhoucke (2014) font de même, mais uniquement pour les chirurgiens. Molina-Pariente et al. (2015) prennent en considération l'heure de début de la journée du chirurgien et l'heure de fin de la journée du chirurgien selon ses disponibilités.

- La charge de travail des chirurgiens (Q) : Bulgarini et al. (2014) définissent eux-aussi une charge de travail pour les chirurgiens. Elle pourra être dépassée moyennant une pénalité, comme mentionné dans la définition de leur fonction objectif. Hashemi Doulabi et al. (2014) mettent en contrainte le temps de travail par chirurgien et ce, selon leur propre préférence. Pour un horizon de temps donné, chaque chirurgien indiquera le nombre d'heures qu'il souhaite travailler. Marques et al. (2012) imposent deux limites aux chirurgiens : un temps opératoire maximum journalier et un autre hebdomadaire. Cependant, ils offrent la possibilité de dépasser ce temps le lundi, afin de satisfaire toutes les demandes urgentes. Fei et al. (2010) ainsi que Wang et al. (2014 b) limitent la charge de travail journalière maximale de chaque chirurgien. Van Huele et Vanhoucke (2014) prennent doublement en compte la charge de travail en imposant un nombre de jours de travail consécutifs minimal et maximal. Ils font de même pour le nombre de périodes prestées par semaine.
- Le modèle inclut d'autres ressources humaines que les chirurgiens, anesthésistes et infirmiers (R) : D'autres ressources humaines peuvent avoir un impact sur la planification et l'ordonnancement. La majorité des modèles prend en compte une ou plusieurs ressources incontournables que sont les chirurgiens, les anesthésistes ou les infirmières. D'autres ajoutent des ressources humaines supplémentaires. Molina-Pariente et al. (2015) prennent en compte les assistants dans leur modèle. Les assistants peuvent pratiquer la chirurgie s'ils ont le degré de compétence requis. Le niveau d'expérience du chirurgien va aussi influencer la durée de la chirurgie qu'il va pratiquer.
- Les ressources matérielles (S) : Certains matériaux à usage unique sont limités par un stock. Le matériel réutilisable va, quant à lui, évoluer au fil de la journée. La prise en compte des moments où il est utilisé est nécessaire lors de l'élaboration du programme opératoire. Plusieurs modèles ont intégré cette notion de contrainte matérielle. Bulgarini et al. (2014) ont défini des capacités pour leur matériel spécifique. A noter que celles-ci peuvent être dépassées grâce à une variable de surutilisation. Vijayakumar et al. (2013) prennent en compte la disponibilité d'un matériel donné à un moment précis, et ce, en définissant le nombre de ressources nécessaires pour chaque patient.
- La capacité de la salle de réveil (T) : Van Huele et Vanhoucke (2014) mettent en contrainte dans la partie planification, le nombre de lits disponibles en salle de réveil.

Ensuite, pour l'ordonnancement, ils imposent que le patient soit directement transféré jusqu'à la salle de réveil et qu'il n'y ait qu'un patient par lit. Wang et al. (2014) prennent en compte le nombre de lits en salle de réveil dans la partie ordonnancement de leur modèle. Ils prennent en compte le nombre de lits maximum et les heures d'ouverture de la salle de réveil. Fei et al. (2010) prennent aussi en compte le nombre de lits disponibles pour la partie ordonnancement de leur modèle.

- Le temps de changement (U) : Entre deux opérations, un temps de changement est nécessaire pour remettre la salle en état, effectuer le nettoyage et préparer le patient suivant. Certains auteurs considèrent le temps de changement comme inclus dans le temps opératoire (Roland et al., 2010 ; Fei et al., 2010 ; Van Huele et Vanhoucke, 2014). D'autres, comme Marques et al. (2012) imposent un nombre de période(s) vide(s) après chaque opération afin de procéder au nettoyage de la salle d'opération. Celles-ci correspondent à 30 minutes dans tous les cas. Que ce soit au travers d'une contrainte ou dans les durées opératoires, le temps de changement est pris en compte pour la partie ordonnancement du programme opératoire. Hashemi Doulabi et al. (2014) intercalent un temps de changement entre des opérations de patients infectés et de patients non infectés. Aucun temps de changement n'est pris en compte entre deux patients infectés ou entre deux patients non infectés. Wang et al. (2014) divisent le temps de changement entre le temps de nettoyage et le temps de préparation. Ceux-ci sont propres à une intervention.

4.3 Méthodes de résolution

Roland et al. (2010) et Vijayakumar et al. (2013) ont utilisé une programmation linéaire mixte pour formuler leur problème. Ce dernier étant NP-difficile, ils l'ont résolu par une heuristique. Van Huele et Vanhoucke (2014), Bulgarini et al. (2014) ainsi que Molina-Pariente et al. (2015) ont formulé le problème en une programmation linéaire mixte. Marques et al. (2012) ont écrit un programme en nombres entiers. Ils ont ensuite cherché à améliorer leurs solutions au travers d'une heuristique. Hashemi Doulabi et al. (2014) ont, quant à eux, utilisé une approche par génération de colonnes. Le problème est donc scindé en deux : un *master problem* qui contient un nombre limité de variables et un sous-problème qui permettra d'ajouter de nouvelles variables pertinentes. Ils appliquent une programmation par contraintes pour résoudre leur sous-problème. Wang et al. (2014 b) ont réalisé une programmation hybride en nombres entiers pour leur problème d'ordonnancement. Le problème étant défini comme NP-difficile, une heuristique combinant le « *particle swarm optimization (PSO)* »

(p.4) et le « *two-stage surgical scheduling (TNSS)* » (p. 9) a été utilisée. Le PSO étant utilisé pour la performance et le TNSS pour la capacité à trouver les solutions réalisables (Wang et al., 2014 b). Fei et al. (2010) ont formulé leur problème comme un problème binaire entier étant donné la ressemblance avec un *bin-packing problem* . Ils ont utilisé la génération de colonnes pour le solutionner.

4.4 Résumé de la littérature des modèles de planification et ordonnancement

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Bulgarini et al. (2014)																								
Fei et al. (2010)																								
Hashemi Doulabi et al. (2014)																								
Marques et al. (2012)																								
Molina-Pariente et al. (2015)																								
Roland et al. (2010)																								
Van Huele et Vanhoucke (2014)																								
Vijayakumar et al. (2013)																								
Wang et al. (2014 b)																								

Tableau 7 : Résumé des modèles de planification et ordonnancement

Le tableau 7 contient le résumé des modèles de planification et d'ordonnancement. Le tableau 8 contient la légende du tableau 7.

Colonne	Légende
A	La minimisation des coûts
B	Minimisation des pénalités
C	La minimisation du temps d'attente des chirurgiens
D	La minimisation du nombre de jours dépassant la date limite d'opération
E	La maximisation de l'utilisation du bloc opératoire
F	La maximisation de la satisfaction du patient
G	La maximisation du nombre de patients planifiés
H	La capacité du bloc
I	La possibilité de dépasser la capacité du bloc
J	La prise en compte de bloc dédié. Nous parlerons de bloc dédié si certaines opérations ne peuvent se dérouler que dans certains blocs opératoires
K	La prise en compte de la date de début au plus tôt
L	La prise en compte d'une date limite pour une opération
M	L'heure de début d'une opération
N	Les indisponibilités du patient pour une opération
O	La disponibilité des ressources humaines
P	La possibilité pour certaines ressources de ne pas assister à toute l'opération
Q	La charge de travail d'un chirurgien
R	Le modèle inclut d'autres ressources humaines que le chirurgien, l'anesthésiste ou les infirmières
S	Les ressources matérielles
T	La prise en considération du nombre de lits au PACU
U	La prise en compte d'un temps de changement entre différents types de chirurgie. Ce temps peut correspondre à un temps de préparation, un temps de nettoyage ou les deux
V	La date d'hospitalisation du patient
W	La prise en compte de la priorité de certains patients pour l'ordonnancement
X	Les données utilisées sont des données réelles

Tableau 8 : Légende du tableau résumant les modèles de planification et d'ordonnancement

Les colonnes de H jusque W peuvent être soit exprimées sous forme de contraintes, soit être prises en compte dans la fonction objectif.

5 Comparaison avec la revue de littérature de Cardoen et al. (2010)

Comme mentionné précédemment Cardoen et al. (2010) ont réalisé une revue de littérature conséquente sur base de 246 manuscrits, articles,... Une mise en parallèle de notre revue de littérature avec cette dernière nous permet donc d'avoir un point de comparaison. Les articles de Cardoen et al. (2010) n'étant pas classés en fonction du sujet traité : planification, ordonnancement ou les deux, l'ensemble des caractéristiques mises en évidence dans ce travail ont été regroupées.

En ce qui concerne les fonctions objectifs, la revue de littérature de Cardoen et al. (2010) et celle que nous proposons se rejoignent. Les grands points que sont le temps d'attente des patients, des chirurgiens, l'utilisation des salles d'opération, le nivellement de l'utilisation, le *makespan* ou encore les critères financiers sont présents des deux cotés.

Pour ce qui est des méthodes de résolution, notre revue de la littérature contient principalement des optimisations avec un ou plusieurs objectifs ainsi que les heuristiques correspondantes. Cardoen et al. (2010) mentionnent d'autres types d'analyses telles que l'analyse de complexité.

Concernant les contraintes, celles qui sont les plus mentionnées chez Cardoen et al. (2010) sont la capacité horaire du bloc opératoire, la demande de chirurgies, la date limite, le personnel médical ou encore les unités de soins. Là encore, la revue de littérature que nous proposons va dans le même sens et reprend le même type de contraintes.

L'incorporation des incertitudes fait aussi partie des revues de la littérature. L'arrivée des urgences et le caractère variable des durées opératoires sont mentionnés dans les deux cas.

Notons que l'absence de certaines caractéristiques dans la revue de Cardoen et al. (2010) ne veut pas dire que ces points n'ont pas été traités auparavant mais qu'ils n'ont peut-être pas été identifiés comme tels par les auteurs.

6 Conclusion

Dans cette partie, nous avons parcouru différents modèles de programmation opératoire. Nous avons cherché à identifier leurs fonctions objectifs, leurs contraintes et la manière dont les auteurs avaient solutionné les problèmes.

Enfin, au travers d'une comparaison avec Cardeon et al. (2010), nous avons essayé de comprendre si ces éléments avaient évolué au cours du temps.

Dans la troisième partie, nous proposerons un modèle de planification ainsi qu'une heuristique pour le résoudre.

Partie 3 : Modélisation de la planification

1 Introduction

Nous avons choisi de développer un modèle de planification qui prend en compte la gestion des lits et l'affectation des patients aux différents services.

Nous supposons que tous les patients devront être planifiés, c'est-à-dire qu'aucune opération ne pourra être reportée au-delà de l'horizon de planification. Une des caractéristiques de ce modèle est que les patients peuvent changer d'unité de soins en cours de séjour. A notre connaissance, ce point n'a pas encore été développé dans des modèles existants.

Différents éléments vont être pris en considération dans ce modèle. Le jour d'admission du patient doit précéder ou être égal au jour de l'hospitalisation. Plusieurs jours peuvent donc séparer la date d'admission de la date d'hospitalisation. Ce nombre de jours dépend du nombre d'exams, tests,... que le patient devra encore effectuer. Ce nombre est fixé par le chirurgien lors de son entrevue avec le patient.

Le modèle de planification va permettre d'attribuer à chaque patient une date d'admission et une unité de soins pour chaque jour du séjour. Ceci va se faire :

- en évitant, d'une part, au maximum la sous-utilisation des lits dans les unités de soins et, d'autre part, en affectant le patient dans une unité de soins la plus appropriée possible ;
- en prenant au maximum en compte, les préférences du patient concernant les dates d'opération ;
- en évitant les dépassements horaires des chirurgiens ;
- en interdisant une admission en dehors des dates autorisées.

Certaines variables, dont les durées opératoires, sont exprimées en nombre d'unités de temps. Nous considérons ici que chaque unité de temps représente 30 minutes.

La période sur laquelle nous effectuons la planification, commence le jour 1 et se termine le jour J. Dans cette partie, nous énoncerons les hypothèses prises en compte. Ensuite, nous définirons la nomenclature et présenterons le modèle au travers de ses fonctions objectifs et contraintes. La dernière section présentera la méthodologie de résolution choisie.

2 Hypothèses

- Les disponibilités des chirurgiens sont reprises d'un *Master Surgical Schedule (MSS)* existant fourni par l'hôpital. Celui-ci est défini sur une rotation de quatre semaines.
- Seuls les cas électifs sont pris en considération.
- Pour permettre les calculs, une journée fictive J-0 a dû être créée. Aucune opération et aucune présence de patient ne seront acceptées ce jour là.
- Le nombre de lits d'aval à l'opération, qu'ils soient en salle de réveil ou aux soins intensifs n'intervient pas dans cette partie de la modélisation.
- Les patients ayant comme unité post-opération, les soins intensifs sont comptabilisés dans l'unité correspondant à l'opération qu'ils viennent d'avoir.
- L'unité idéale du patient est considérée comme fixe pour l'ensemble de son séjour. Elle est donc identique à l'entrée du patient et à la sortie de ce dernier de l'hôpital.
- Tous les patients doivent être programmés.
- Les temps de changements entre les opérations sont compris dans les durées opératoires considérées.

3 Nomenclature

Le tableau 9 énonce l'ensemble des notations utilisées ainsi que leur description à l'exception des variables de décision présentées dans le tableau 10.

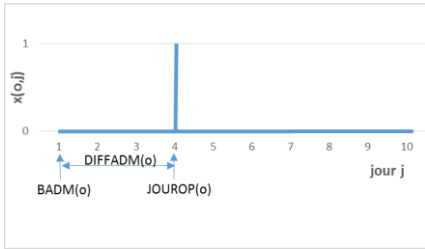
Notations	Descriptions
Ω	Ensemble des opérations
Ω_s	Ensemble des opérations du chirurgien s
O	Nombre d'opérations, $O = \Omega $
J	Nombre de journées
S	Nombre de chirurgiens
U	Nombre de services
o	Une intervention chirurgicale ; identifie également le patient. $o \in \{1..O\}$
j	Une journée $j \in \{1..J\}$
s	Un chirurgien $s \in \{1..S\}$
u	Une unité de soins $u \in \{1..U\}$

BNB(u,j)	Le nombre de lits inoccupés dans l'unité de soins u le jour j avant la planification
UBNB(u,j)	Le nombre de lits inoccupés dans l'unité de soins u le jour j après avoir planifié toutes les opérations > 0 : si tous les lits ne sont pas occupés $= 0$: sinon
DIFFADMO(o)	Le nombre de jours qui doit séparer le jour d'admission du jour de l'opération pour le patient o , par exemple pour effectuer certains examens comme un scanner.... $= 0$: si le patient est admis le même jour que le jour de l'opération > 0 : si le patient est admis avant le jour de l'opération
ds(o)	Durée de séjour exprimée en jours du patient o
DSURG(j,s)	Durée exprimée en nombre d'unités de temps de la somme des plages disponibles dans toutes les salles d'opération du chirurgien s le jour j
ODSURG(j,s)	$= 0$: après avoir planifié toutes les opérations, le chirurgien s ne dépasse pas la durée totale de chirurgie qui lui a été attribuée pour le jour j > 0 : le nombre d'unités de temps que le chirurgien s , le jour j va utiliser au-delà de la durée totale de chirurgie qui lui a été attribuée
UDSURG(j,s)	$= 0$: après avoir planifié toutes les opérations, le chirurgien s utilise la totalité de la durée de chirurgie qui lui a été attribuée pour le jour j > 0 : le nombre d'unités de temps de la durée totale de chirurgie que le chirurgien s n'a pas utilisé le jour j
d(o)	Durée exprimée en nombre d'unités de temps de l'opération o
ES(o)	Date de début au plus tôt pour l'opération o , exprimée sous la forme d'un numéro de jour
LS(o)	Date de début au plus tard pour l'opération o , exprimée sous la forme d'un numéro de jour
DAYPREF(o,j)	Indique les dates préférées d'opération pour le patient o

	= 1 : si le jour j est préféré = 0 : sinon Le patient peut préférer plusieurs journées
$\delta(o, j)$	Variable d'écart relative aux préférences du patient concernant les dates d'opération DAYPREF(o, j) = 0 : si les préférences sont satisfaites = 1 : si les préférences ne sont pas satisfaites
$\theta(o, j)$	Variable d'écart relative aux préférences du patient et en lien avec $\delta(o, j)$
Prox($u1, u2$)	Degré de proximité entre deux unités de soins ($u1$ et $u2$)
UC(o)	Unité de soins correspondant à l'opération o (l'unité de soins adéquate)

Tableau 9 : Description des notations, des paramètres et variables du modèle de planification

Variables de décisions :

Notations	Descriptions
BADM(o)	Jour de l'admission du patient o
JOUROP(o)	Jour de l'opération du patient o
$x(o, j)$	= 1 si le patient o est opéré le jour j = 0 sinon 
$z(o, u, j)$	= 1 si le patient o est présent dans l'unité de soins u le jour j = 0 sinon

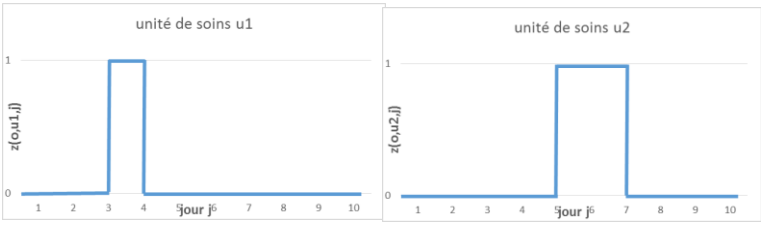
	
$y(o,j)$	= 1 si le patient o est admis le jour j à l'hôpital = 0 si le patient o n'est pas admis le jour j à l'hôpital

Tableau 10 : Description des variables de décisions du modèle de planification

4 Modélisation

4.1 Fonctions objectifs

1. Minimiser les mauvaises affectations dans les unités de soins inappropriées. Si le patient est affecté dans une unité de soins qui n'est pas adéquate (donc différente de $UC(o)$), un coût, sous la forme d'un degré de proximité, est généré. Une matrice $Prox(u1, u2)$ a été calculée en prétraitement où $u1$ représente l'unité de soins attribuée au patient et $u2$ l'unité de soins adéquate ($UC(o)$). Pour chaque paire d'unités de soins ($u1, u2$), un degré de proximité a été calculé selon la formule : distance entre les deux unités * mesure des compétences du personnel soignant de l'unité $u1$ pour des soins relatifs à l'unité $u2$. Cette mesure est établie sur une échelle de 0 à 5 où 0 représente une parfaite compétence. La distance est mesurée sur une échelle de 1 à 5 où 1 représente une unité voisine.

Ce degré de proximité calculé selon deux termes, est justifié par le fait que le chirurgien n'a que très peu de temps pour effectuer le tour de son unité de soins et ne veut souvent pas se déplacer à l'autre bout de l'hôpital pour visiter un de ses patients. De plus, bien souvent, ce patient est oublié. Les compétences du personnel soignant de l'unité de soins non adéquate sont donc primordiales.

Le tableau 11 montre un exemple de matrice de proximité ($u1, u2$). Dans cet exemple, un patient qui passe une journée en orthopédie alors que son service normal est la neurologie aura une pénalité de 25 par jour passé en orthopédie.

U2=UC(o)				
U1		Cardiologie	Neurologie	Orthopédie
	Cardiologie	0	1*5	3*5
	Neurologie	1*5	0	5*5
	Orthopédie	3*5	5*5	0

Tableau 11 : Exemple d'une matrice $Prox(u1,u2)$

$$MIN Z_1 = \sum_o \sum_u \sum_j^J Prox(u, UC(o)).z(o, u, j)$$

2. Satisfaire les préférences du patient concernant la journée d'opération. Lorsque les préférences sont satisfaites $\delta(o, j) = 0$.

$$MIN Z_2 = \sum_{j=1}^J \sum_{o \in \Omega} \delta(o, j)$$

3. Utiliser au mieux les disponibilités du chirurgien et donc, ne pas les dépasser ni les sous-utiliser.

$$MIN Z_3 = \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^s ODSURG(j, s) + UDSURG(j, s)$$

4. Il faut éviter la sous-utilisation des lits dans les unités de soins

$$MIN Z_4 = \sum_{j=1}^J \sum_{u=1}^U UBNB(u, j)$$

Pour combiner ces objectifs, une méthode lexicographique a été choisie. Les objectifs seront classés par ordre de priorité. Le premier objectif sera optimisé sans tenir compte des autres. Ensuite, le deuxième sera, à son tour, optimisé avec comme contrainte supplémentaire : que la valeur de premier objectif soit égale à la valeur trouvée lors de son optimisation. Ce processus sera répété jusqu'au dernier objectif.

4.2 Contraintes

L'ensemble des contraintes utilisées dans le modèle sont reprises dans cette partie. Elles ont été regroupées sous sept groupes de contraintes.

1. Toutes les opérations programmées doivent être planifiées.

$$\sum_{j=1}^J x(o, j) = 1 \quad \forall o$$

2. Contrainte permettant de voir s'il y a une sur ou sous-utilisation de la disponibilité de chaque chirurgien s le jour j . Pour chaque chirurgien s , nous avons additionné les disponibilités de toutes ses plages horaires dans toutes les salles et ce, pour chaque jour j .

$$\left[\sum_{o \in \Omega_s} d(o).x(o,j) \right] - ODSURG(j,s) + UDSURG(j,s) = DSURG(j,s) \quad \forall s,j$$

3. Les opérations doivent être effectuées impérativement après une certaine date nommée $ES(o)$. En effet, il est possible que le patient doive arrêter la prise de certains médicaments ou passer des examens préopératoires. De même, les opérations doivent avoir lieu avant une certaine date $LS(o)$.

$$\sum_{j=1}^J x(o,j).j \geq ES(o) \quad \forall o$$

$$\sum_{j=1}^J x(o,j).j \leq LS(o) \quad \forall o$$

4. Nous allons veiller à respecter les préférences journalières des patients

$$x(o,j) - DAYPREF(o,j) = \delta(o,j) - \theta(o,j) \quad \forall o,j$$

Expliquons en détail tous les cas possibles :

$x(o,j) - DAYPREF(o,j)$	=	$\delta(o,j) - \theta(o,j)$	cas	
0 0		0 0	(a)	OK
0 0		1 1	(b)	X
0 1		0 1	(c)	OK
1 0		1 0	(d)	X
1 1		0 0	(e)	OK
1 1		1 1	(f)	X

- Le cas (a) : le jour j n'est pas préféré par le patient et l'opération n'a pas lieu ce jour-là, donc les préférences sont satisfaites et $\delta(o,j)$ doit être égal à 0. Pour satisfaire la contrainte, $\theta(o,j)$ doit être égal à 0.
- Le cas (c) : le jour j fait partie des jours préférés par le patient mais l'opération n'a pas lieu ce jour-là, donc les préférences du patient ne sont pas contredites et donc $\delta(o,j)$ doit être égal à 0. Pour satisfaire la contrainte, $\theta(o,j)$ doit être égal à 1.

- Le cas (d) : le jour j n'est pas préféré par le patient mais l'opération a lieu ce jour-là, donc les préférences ne sont pas satisfaites et donc $\delta(o, j)$ doit être égal à 1. Pour satisfaire la contrainte, $\theta(o, j)$ doit être égal à 0.
- Le cas (e) : le jour j est préféré par le patient et l'opération a lieu ce jour-là, donc les préférences sont satisfaites et $\delta(o, j)$ doit être égal à 0. Pour satisfaire la contrainte, $\theta(o, j)$ doit être égal à 0.
- Les cas (b) et (f) sont deux cas non souhaités vu que nous désirons que $\delta(o, j)$ soit égal à 0 quand les préférences du patient sont satisfaites.

Pour cela, nous devons ajouter une autre contrainte :

$$\delta(o, j) + \theta(o, j) < 2 \quad \forall o, j$$

Précisons que le cas (d) est à éviter dans la mesure du possible. Même si, le modèle l'autorise en tentant de minimiser le nombre d'occurrences de ce type via l'objectif Z_2 à minimiser.

5. Le nombre de 1 dans $z(o, u, j)$ doit être égal à la durée de séjour exprimée en jours.

$$\sum_{u=1}^U \sum_{j=1}^J z(o, u, j) = ds(o) \quad \forall o$$

6. Pour s'assurer que les « 1 » seront bien consécutifs dans $z(o, u, j)$, il faut intégrer une contrainte supplémentaire. Celle-ci doit cependant prendre en considération le fait qu'on autorise le changement d'unités de soins en cours de séjour. Ceci peut permettre au patient de revenir dans la bonne unité. Rappelons qu'il y a des pénalités lorsque le patient n'est pas dans l'unité de soins adéquate.

$$\sum_{u=1}^U \sum_{j=1}^{J-ds(o)+1} \left\lfloor \frac{\sum_{t=j}^{j+ds(o)-1} z(o, u, t)}{ds(o)} \right\rfloor = 1 \quad \forall o$$

Il faut linéariser cette contrainte, et pour cela, la remplacer par les contraintes suivantes :

- $y(o, j)=1$ lorsque le patient est présent dans l'hôpital en j et qu'il ne l'était pas en $j-1$

$$y(o, j) \geq \sum_{u=1}^U z(o, u, j) - \sum_{u=1}^U z(o, u, j-1) \quad \forall o, j (j \geq 1)$$

- Le nombre d'admissions concernant une opération doit être égal à 1

$$\sum_{j=1}^J y(o, j) = 1 \quad \forall o$$

- Les patients ne peuvent pas séjourner en $j=0$

$$z(o, u, j = 0) = 0 \quad \forall o, u$$

7. Dès lors que l'on connaît la suite de $z(o, u, j)$ égale à 1, représentant les jours de présence de chaque patient, il est possible de calculer le premier jour du séjour. Celui-ci correspond au jour d'admission du patient.

La progression géométrique est destinée à trouver le premier terme « 1 » de $z(o, u, j)$ qui représente le jour d'admission.

$$BADM(o) = \frac{\left[\sum_{u=1}^U \sum_{j=1}^{LS(o)+ds(o)-1} j \cdot z(o, u, j) \right] - \left(\frac{ds(o) \cdot (ds(o) - 1)}{2} \right)}{ds(o)}$$

Il faut s'assurer que la date d'admission soit bien avant ou le même jour que la date d'hospitalisation et que l'on respecte le délai imposé au patient entre son admission et son opération.

$$JOUROP(o) = BADM(o) + DIFFADM(o)$$

La variable $x(o, j) = 1$ uniquement lorsque $j = JOUROP(o)$. Pour cela, il faut lier les deux variables.

$$\sum_{j=1}^J x(o, j) * j = JOUROP(o) \quad \forall o$$

8. Le patient o doit être dans maximum une et une seule unité de soins le jour j .

$$\sum_{u=1}^U z(o, u, j) \leq 1 \quad \forall o, j$$

Il faut s'assurer de ne pas mettre plus de patients dans l'unité de soins u qu'il n'y a de lits disponibles. La surcapacité n'est pas autorisée. S'il n'y a plus de place dans l'unité de soins correspondant à sa pathologie le jour j , le patient sera placé dans une autre unité de soins avec une pénalité. Par ailleurs, dans les objectifs, nous veillerons à minimiser la sous-capacité.

$$\left(\sum_{o \in \Omega} z(o, u, j) \right) + UBNB(u, j) = BNB(u, j) \quad \forall j, u$$

$$\begin{aligned}
& \text{UDSURG}(j, s) \geq 0 \quad \forall j, s \\
& \text{ODSURG}(j, s) \geq 0 \quad \forall j, s \\
& \text{UBNB}(u, j) \geq 0 \quad \forall u, j \\
& \text{DSURG}(j, s) \geq 0 \quad \forall j, s \\
& d(o) \geq 0 \quad \forall o \\
& \text{Prox}(u1, u2) \geq 0 \quad \forall u1, u2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x(o, j) \in \{0, 1\} \quad \forall o, j \\
& z(o, u, j) \in \{0, 1\} \quad \forall o, u, j \\
& \theta(o, j) \in \{0, 1\} \quad \forall o, j \\
& \delta(o, j) \in \{0, 1\} \quad \forall o, j \\
& \text{DAYPREF}(o, j) \in \{0, 1\} \quad \forall o, j
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& y(o, j) \in \{0, 1\} \quad \forall o, j \\
& \text{DIFFADM}(o), \text{BNB}(u, j), \text{UBNB}(u, j) \text{ entiers positifs ou nuls} \\
& \text{ds}(o), \text{BADM}(o), \text{ES}(o), \text{LS}(o), \text{JOUROP}(o) \text{ entiers positifs}
\end{aligned}$$

5 Méthodologie

Notre programme linéaire en nombres entiers est solutionné sous FICO Xpress IVE 7.7, et ce, à l'aide d'un ordinateur doté d'un processeur Core I7 2600-CPU 3.40 Ghz.

5.1 L'algorithme du Branch and Bound

L'algorithme du *Branch and Bound* est un algorithme qui va essayer de trouver la meilleure solution en énumérant le moins de solutions possibles. En effet, si l'algorithme parcourait l'ensemble des possibilités, cela reviendrait à effectuer une énumération complète de celles-ci. L'algorithme démarre de la solution de la relaxation et va progressivement explorer les variables. Les décisions sont guidées d'une part, par la meilleure solution déjà trouvée, et d'autre part, par le fait que plus on descend dans l'arbre, plus on ajoute des contraintes et par conséquent, plus la solution se détériore. (Van Vyve, 2014)

Il y a trois raisons pour que le nœud en cours ne soit plus exploré :

- par limitation : si la solution obtenue est moins bonne que la solution en cours, alors les solutions en-dessous de ce nœud seront elles-aussi, moins bonnes ;

- par infaisabilité : si le problème n'est pas soluble, alors il ne le sera pas pour les nœuds en-dessous ;
- par optimalité : si la solution est réalisable dans le problème initial, alors il s'agit de l'optimum.

Un cas de figure demande une exploration du nœud en cours. En effet, si la solution n'est pas réalisable dans le problème initial mais que son objectif est meilleur que celui déjà trouvé, alors l'exploration du nœud est à effectuer. L'algorithme repose donc sur trois principes majeurs : la relaxation, la sélection du nœud et le branchement. Les trois principes sont détaillés ci-après. (Van Vyve, 2014)

5.1.1 *Linear programming relaxation*

Dans un premier temps, le modèle va effectuer la *linear programming relaxation*. Cette relaxation va transformer la ou les variable(s) binaire(s) (1) en variable(s) continue(s) (2).

$$x \in \{0,1\} \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq 1 \quad (2)$$

Effectuer cette relaxation peut amener trois situations différentes (Van Vyve, 2014) :

- Prouver l'infaisabilité : Si après avoir transformé les variables binaires en variables continues, le problème est insoluble, alors le problème initial l'est lui aussi ;
- Trouver l'optimum : Si après avec relaxé le problème initial, une solution est trouvée et que cette dernière est aussi réalisable dans le problème initial, alors, la solution de la relaxation est l'optimum du problème de base ;
- Trouver une limite : Si après avec relaxé le problème initial, une solution est trouvée et que cette dernière n'est pas réalisable dans le problème initial, alors, le chiffre trouvé correspond à une limite maximale, s'il s'agit d'une maximisation et minimale s'il s'agit d'une minimisation.

5.1.2 *Principe de sélection du nœud et de « branchement »*

Il y a trois techniques de sélection du nœud (Van Vyve, 2014):

Premièrement, choisir le nœud à explorer qui est le plus bas dans l'arbre. L'objectif est d'obtenir une solution rapidement. L'inconvénient est que cela peut mener le programme à se concentrer sur une partie de l'arbre.

Deuxièmement, prendre le nœud ayant la meilleure solution. L'idée est d'améliorer la meilleure solution rapidement. Cependant, en restant sur la partie supérieure de l'arbre, les solutions réalisables peuvent tarder à apparaître.

Troisièmement, mixer les deux premières méthodes.

Une fois le nœud choisi, il faut déterminer sur quelle variable effectuer le branchement. Un exemple de branchement est représenté par la figure 7. Dans ce cas, la variable « x » est égale à 3,2 dans la solution obtenue au nœud 1. La variable devant être binaire, un branchement est effectué. Un premier sous-problème est créé en ajoutant la contrainte $x=2$. Le deuxième est créé avec la contrainte $x=3$.

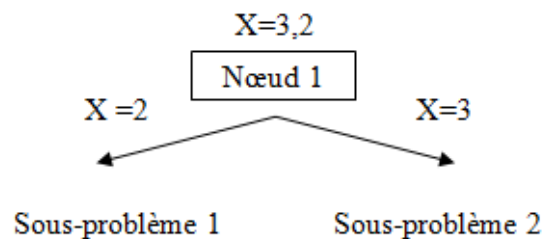


Figure 7 : Exemple de branchement pour l'algorithme du Branch and Bound

5.1.3 Algorithmes utilisés par FICO Xpress pour les programmes linéaires

Le programme d'optimisation FICO Xpress utilise trois méthodes principales pour les programmes linéaires: le *Primal Simplex*, le *Dual Simplex* et la méthode des points intérieurs. (Fico Xpress Optimizer, 2009) Dans notre cas, ils seront utilisés pour solutionner le nœud racine de l'arbre du *Branch and Bound*.

Le *simplex* va définir les facettes du polyèdre formé par les contraintes. L'algorithme va ensuite parcourir les sommets du polyèdre défini pour trouver la meilleure solution. L'algorithme sera appliqué sur le problème *primal* pour le *primal simplex* et sur le problème *dual* pour le *dual simplex*. Le *primal simplex* part d'une solution réalisable et cherche l'optimalité en conservant la réalisabilité. Le *dual simplex* part d'une solution optimale et cherche une solution réalisable en conservant l'optimalité. (Gass et Fu, 2013)

La méthode des points intérieurs s'oppose à celle du *simplex*, puisqu'elle passe par l'intérieur des solutions réalisables pour trouver l'optimum et non par l'extérieur comme le fait le *simplex*. Les solutions vont donc être envisagées à l'intérieur de la région définie, en

pénalisant le rapprochement des limites définies par les contraintes et formant l'ensemble des solutions réalisables.

Gass et Fu (2013) proposent une comparaison entre la méthode du *simplex* et la méthode des points intérieurs. Le choix dépendra de la taille du problème à solutionner. Les problèmes de large envergure utiliseront la méthode des points intérieurs.

5.2 Heuristique

Lorsque la taille du problème est importante, la durée de résolution peut être longue. Plusieurs heuristiques existent pour fournir une solution plus rapidement. Cependant, il s'agit de solutions approchées et non de solutions exactes. Dans le cas du modèle présenté, le nombre de variables est trop important que pour avoir une solution exacte. Le choix d'utiliser une heuristique s'est donc imposé. Parmi les heuristiques possibles, celle dite de *Fix and Solve* apparaît la plus appropriée puisqu'elle permet de réduire petit à petit la taille du problème en fixant les variables dont la valeur est cohérente. L'heuristique et la manière dont elle sera utilisée dans ce travail sont présentées ci-après.

L'idée principale de l'heuristique *Fix and Solve* est de fixer certaines variables afin de réduire la taille du problème. Le principe est de fixer les variables dont les valeurs pourraient être exactes dans le problème initial. L'avantage réside dans la réduction de la taille du problème. Cependant, en fixant certaines variables, on peut aussi ne pas permettre à l'algorithme de trouver la solution qui aurait été optimale dans le problème initial (Van Vyve 2014). Un exemple d'algorithme *Fix and Solve* adapté à notre cas est illustré avec la figure 8.

Le problème initial est lancé. Le programme cherche la solution optimale au travers de l'algorithme du *Branch and Bound*. Après une heure, le programme est arrêté. Les solutions sont sorties et les variables ayant une valeur réalisable sont fixées. Le programme est relancé avec ses nouvelles contraintes, à savoir les variables qui ont été déterminées au préalable. Il sera arrêté toutes les heures pour fixer à nouveau des variables réalisables jusqu'à l'obtention d'une solution réalisable. Le délai pour l'arrêt a été choisi de manière arbitraire. Ce dernier est effectué grâce à un paramétrage proposé par Fico Xpress.

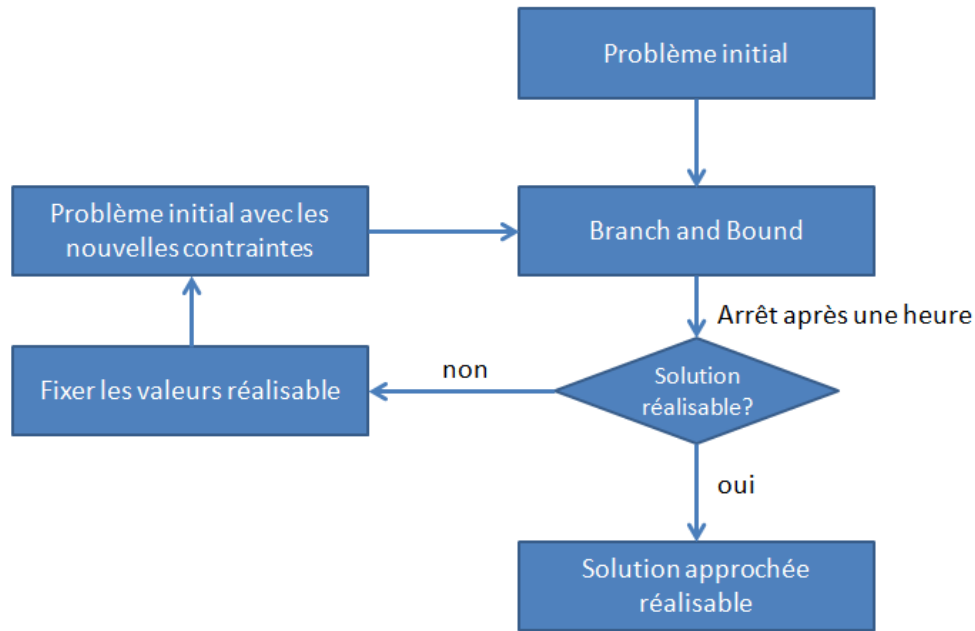


Figure 8 : Algorithme de l'heuristique choisie

6 Conclusion

Dans cette section, nous venons de développer un modèle de planification prenant en compte la capacité des unités de l'hôpital. Le modèle incorpore le caractère mobile des patients entre les différentes unités afin de parer au manque de place dans certaines unités. La modélisation cherche aussi à lisser au mieux l'activité des chirurgiens au sein de leurs disponibilités respectives pour limiter les sur et les sous-utilisations. Enfin, le modèle prend en considération les préférences des patients concernant leur jour d'opération. Une méthodologie de résolution a aussi été proposée. Dans la section suivante, nous évaluerons notre modèle sur un cas d'application réel.

Partie 4 : Cas d'application

1 Introduction

Dans cette quatrième partie, nous allons incorporer des données réelles dans notre modèle, de manière à pouvoir analyser les résultats.

L'apport de cette partie réside tant sur la réalité du cas proposé, que sur la taille de la base de données utilisées et le nombre d'opérations considérées. En effet, dans les articles traitant de la planification mentionnés dans la revue de la littérature, seuls deux ont été testés sur des données réelles. De plus, Fei (2006) avait montré dans sa revue de littérature sur la planification que les articles traitaient souvent de problèmes sur une semaine. Dans le cas présenté, elle portera sur deux semaines.

Dans un premier temps, les données et leur provenance seront détaillées, de même que le contexte de la modélisation.

Deuxièmement, plusieurs cas et leurs résultats seront présentés. Le premier sera le modèle de base avec un premier ordre de priorité pour les objectifs. Ensuite, d'autres ordres de priorité seront testés et plusieurs variations de paramètres seront proposées. Une analyse de scénario concernant les incertitudes sera aussi présentée.

Enfin, les recommandations et les limites du modèle seront définies.

2 Le CHU Dinant-Godinne UCL Namur

L'hôpital de Mont-Godinne est un hôpital universitaire non-académique faisant partie du complexe hospitalier Dinant-Godinne UCL Namur. L'ensemble hospitalier compte 630 lits justifiés dont 409 sur le site de Mont-Godinne. Dans le cas de l'hôpital de Mont-Godinne, les patients *in* et *out* sont traités dans deux blocs opératoires distincts. En effet, l'hôpital est constitué d'une partie « hôpital chirurgical de jour » pour les patients *out* et d'une partie « clinique » pour les autres. Au niveau du personnel, les chirurgiens et les anesthésistes peuvent travailler dans les deux quartiers opératoires. L'hôpital compte dix salles dans le bloc opératoire de la clinique. L'hôpital chirurgical de jour dispose de quatre salles d'opération. Les salles de réveil sont distinctes. Outre les salles d'opération, l'hôpital contient quatre postes extérieurs utilisés notamment pour les fécondations *in vitro*.

Les salles sont considérées polyvalentes sous contraintes matérielles. Les urgences sont dispersées dans les différentes salles. En effet, l'hôpital ne dispose pas d'une salle dédiée aux patients urgents. Le *Master Surgical Schedule* est réalisé sur une base de quatre semaines. Il est réévalué tous les six mois. Ce travail est réalisé dans le cadre du bloc opératoire de la clinique.

3 Analyse du fonctionnement du bloc opératoire

3.1 La programmation

Le cheminement de la programmation opératoire au CHU peut être résumé par la figure 9.

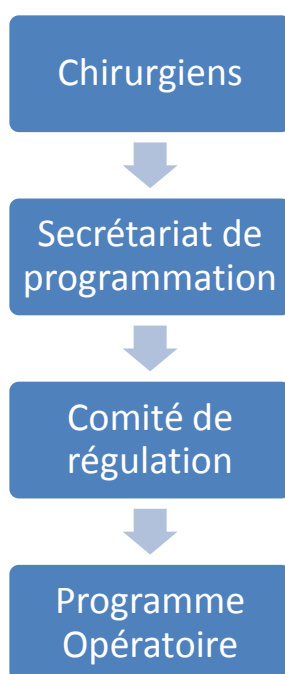


Figure 9 : Cheminement de la programmation opératoire au CHU

Lorsque la décision d'effectuer une opération est prise, le chirurgien remplit un bon de liaison. Il contient le nom, le prénom et la date de naissance du patient. De plus, les informations concernant l'intervention sont présentes tels que le matériel, la durée de séjour, la durée de l'opération, le nombre de jours entre l'admission et l'opération.

Le bon est remis au secrétariat de programmation qui définit, en présence du patient, le jour de l'opération. Cette décision se fait sur base du *Master Surgical Schedule* en cours et des opérations déjà présentes pour le chirurgien concerné. L'encodage se fait dans le logiciel utilisé par l'hôpital. La planification des patients est donc faite de manière chronologique au fur et à mesure de la demande. L'hôpital utilise une technique de *modified block scheduling* et

s'autorise donc à réattribuer les plages en fonction des demandes. Une plage vide qui n'a pas pu être réattribuée se comptabilise en sous-utilisation du chirurgien initialement prévu. Le MSS créé pour six mois sera nommé MSS théorique. Le MSS, après réallocation des plages, sera nommé MSS réel.

Le comité de régulation valide les plannings, le mardi et le vendredi de chaque semaine. Le comité de régulation est composé du chef du bloc opératoire, d'un représentant des anesthésistes, d'un représentant des infirmiers et du chef du service de programmation. Cette régulation porte essentiellement sur l'ordonnancement des patients.

La frontière planification-ordonnancement dépend souvent du contexte dans lequel elle apparaît. Pour ce qui est du CHU, étant donné que le MSS alloue des temps horaires dans des salles définies, l'ordonnancement consiste uniquement à définir l'ordre des opérations programmées dans chaque salle. Il est aussi nécessaire de placer les chirurgiens non prévus dans les places restantes.

Sauf exceptions, les interventions sont programmées dans l'ordre décroissant de leur durée opératoire prévue. Ce choix a été fait sur base des hypothèses selon lesquelles les opérations les plus longues sont les plus compliquées et que l'attention des chirurgiens est plus élevée le matin. Cependant, plusieurs impacts peuvent être identifiés :

- L'activité de la salle de réveil est faible le matin et s'intensifie au cours de la journée ;
- Les temps d'attentes à jeun pour les patients à l'exception du premier sont plus longs ;
- Le retour des patients dans les services sont concentrés sur une courte période de temps.

Une bonne répartition des heures de début et de fin des opérations peut aussi aider pour le brancardage des patients, en répartissant mieux la charge de travail.

Le programme opératoire sera encore modifié dû aux « urgences » et autres perturbations de dernière minute. Les urgences à J-0 sont insérées au programme selon le degré de l'urgence. Les annulations de cas peuvent aussi être à l'origine du chamboulement du programme opératoire.

3.2 L'impact et la gestion des perturbations

3.2.1 Les aléas

Comme mentionné dans la revue de la littérature, trois aléas peuvent être mis en avant : le changement de patient décidé par le chirurgien, l'état du patient et l'arrivée des urgences.

L'impact des deux premiers éléments est minoritaire par rapport à celui du troisième. La programmation au CHU est fortement affectée par les urgences. En effet, leur nombre y est important et fortement variable. Cette variabilité rend, dès lors, peu optimale la réservation d'une salle uniquement dédiée aux urgences. De plus, les urgences concernent souvent des spécialités qui sont déjà présentes dans le programme opératoire. Ces dernières peuvent avoir plusieurs salles, rendant l'utilisation d'une éventuelle salle dédiée aux urgences difficiles à cause des contraintes matérielles et des disponibilités des chirurgiens. La majorité des urgences sont donc effectuées dans des salles déjà ouvertes. Les urgences seront ajoutées dans la salle du chirurgien correspondant si celui-ci opère ce jour-là. Sinon, elles seront incorporées dans la première salle libre lorsque l'urgence peut être incorporée en fin de programme ou après la première opération terminée, si l'urgence doit être faite immédiatement. La figure 10 montre le pourcentage d'urgences par spécialité. Il apparaît clairement que ce pourcentage dépend fortement de la spécialité. Si certaines spécialités n'ont pas ou presque pas d'urgences, d'autres, au contraire, atteignent les 20%. La sous-occupation en électif n'a donc pas la même pénalité en fonction de la spécialité. En effet, pour la première spécialité, il y a peu de chances que les urgences de cette spécialité viennent combler sa sous-occupation. En revanche, pour la seconde spécialité, des plages horaires fortement remplies en électifs, déborderont plus vite, une fois les urgences ajoutées.

En ce qui concerne le rapport entre les jours de la semaine et le nombre d'urgences, il est légèrement plus élevé le vendredi que les autres jours, comme le montre la figure 11.

Taux d'urgences en pourcentage de l'activité par spécialité en février

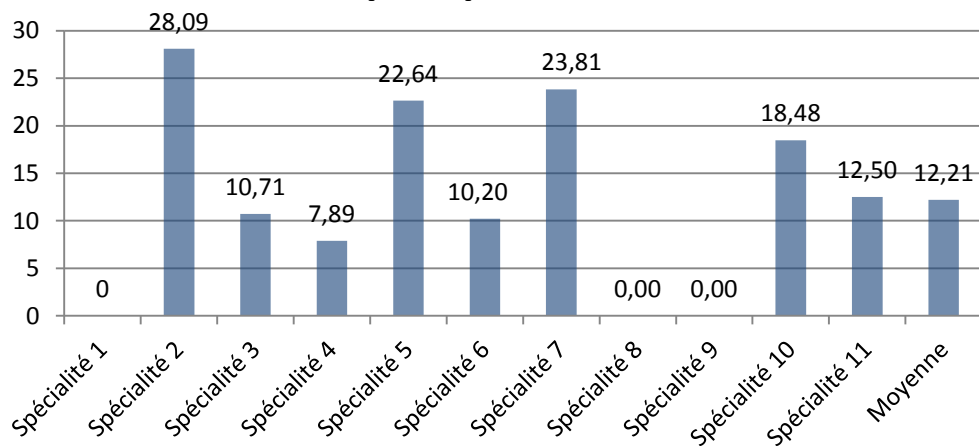


Figure 10 : Taux d'urgences en pourcentage de l'activité par spécialité en février

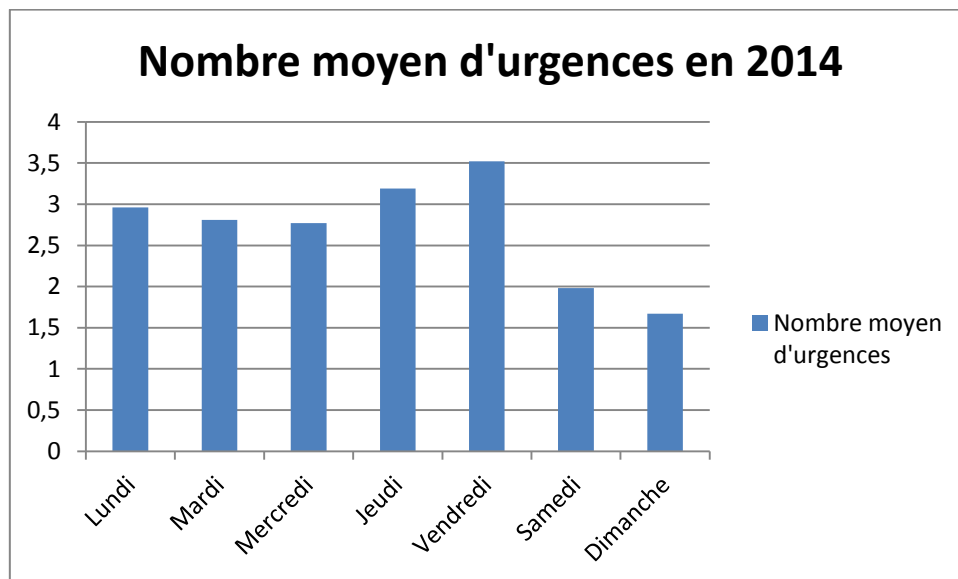


Figure 11 : Nombre moyen d'urgences par jour de la semaine en 2014

3.2.2 Les incertitudes

Six incertitudes ont été définies dans la revue de la littérature : la durée des opérations, la durée du séjour, le chemin imprécis du patient, le nombre de types de chirurgie, la demande hebdomadaire. L'hôpital duquel proviennent nos données doit aussi y faire face.

La durée des opérations est très variable et difficilement prédictible. Actuellement, l'hôpital se base sur les médianes, mais des variations importantes sont constatées quotidiennement. En effet, les médianes pourraient être une bonne indication sur une base importante d'opérations. Or, vu la diversité des opérations et des techniques, pour avoir un nombre important

d'opérations similaires, une grande période est requise. Comme l'hôpital progresse perpétuellement en termes de technologie, le temps de récupérer un nombre suffisant de données, le protocole et les techniques ont changé. Cette incertitude donne souvent lieu à des sur et sous-occupations plus prononcées que prévu.

En ce qui concerne les durées de séjour du patient, elles ne sont que partiellement prises en compte lors de la planification des opérations, ceci rendant la gestion des lits au quotidien très complexe. L'intérêt du modèle est donc de la prendre en compte et de voir comment cela peut éviter des associations patient-service peu favorables.

Pour le chemin imprécis des patients et plus précisément, s'ils vont en salle de réveil ou dans l'unité de soins intensifs (USI), la décision et la réservation des places aux USI se font la veille par l'anesthésiste responsable de la salle dans laquelle le patient va être opéré. Le chemin du patient après l'opération n'est donc pas pris en compte lors de la planification. Comme pour les unités de soins, il est très compliqué de connaître le nombre de places qui seront disponibles un jour donné, vu que celles-ci ne sont pas réservées à l'activité chirurgicale et peuvent donc être attribuées à d'autres patients. Malgré les quatre unités de soins intensifs, le nombre de lits disponibles dans ces unités est souvent un problème et peut modifier de manière significative la programmation initiale. En effet, une chirurgie qui nécessite une place aux soins intensifs peut être reportée s'il n'y a pas de certitude sur la disponibilité d'une place pour ce patient.

L'incertitude sur le nombre de types de chirurgiens susceptibles d'utiliser les mêmes ressources est prise en compte dans le *Master Surgical Schedule*, et ce, en limitant le nombre de plages simultanées pour une même spécialité ou pour celles qui pourraient utiliser les mêmes ressources.

Enfin, la demande hebdomadaire des chirurgiens est fortement variable. Ceci est notamment dû à leurs activités extra-chirurgicales. La programmation essaie de contrer le phénomène en redistribuant les plages ou en fermant une ou plusieurs salles.

4 Présentation des données

Les données utilisées pour la planification sont des données réelles. Elles ont été collectées en février 2015 au CHU Dinant-Godinne UCL Namur. Les données ont été extraites de la Datawarehouse de l'hôpital qui est alimentée par les données provenant du monitoring des

patients, du logiciel de gestion de l'hôpital et du dossier des patients. Au total, 187 opérations seront insérées dans le programme pour réaliser la planification. Elles seront réparties entre 28 chirurgiens.

La programmation opératoire se base sur un *Master Surgical Schedule* de semaine qui est révisé tous les six mois. La stratégie est donc dite de *modified block scheduling*. Le bloc opératoire se compose de dix salles d'opération. Chaque jour, au maximum, en ouverture normale, quatre salles d'opération peuvent fonctionner de 8h à 18h. Les autres ferment à 16h30. Les salles sont considérées comme polyvalentes sous contrainte matérielle. En effet, certains outils sont fixes ou ne peuvent être utilisés que dans un nombre restreint de salles. Ces éléments ont été pris en compte lors de la création du *Master Surgical Schedule*. Les urgences sont dispersées entre les salles. Le staff médical est normalement prévu pour le nombre de salles qui sont programmées dans le *Master Surgical Schedule*, le jour prévu. La figure 12 montre l'organisation du mardi de la première semaine du MSS. Les chirurgiens 16, 18, 15, 12, 37 ont respectivement une salle de 8h à 16h30. Les chirurgiens 9, 19, 24 ont leur salle jusque 18h alors que les chirurgiens 28 et 11 se partagent la salle 8. La salle 10 n'est quant à elle, pas attribuée.

	Semaine 1 – Mardi											
	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	
S1	CH16											
S2	CH9											
S3	CH18											
S4	CH15											
S5	CH12											
S6	CH19											
S7	CH37											
S8	CH28					CH11						
S9	CH24											
S10												

Figure 12 : Exemple de MSS au CHU

Outre le MSS, d'autres données proviennent de l'hôpital pour implémenter le modèle de planification. Pour chaque opération, ont été récupérées les données suivantes :

- L'identifiant de l'opération ;
- La durée de l'opération : il s'agit des médianes calculées sur base de l'historique des opérations du chirurgien. Ce sont ces dernières qui sont utilisées par l'hôpital pour réaliser le programme opératoire ;
- Le praticien ;
- Le service auquel le patient devrait être affecté ;
- La durée de séjour du patient (La durée moyenne de séjour pour la base de données utilisée est de cinq jours ouvrables) ;
- La date au plus tôt : elle est calculée sur base de la date de prise de rendez-vous. Si ce dernier a été pris avant le mois qui est planifié, elle est ramenée au premier jour du mois. Ainsi, si nous planifions le mois de février et que le patient a pris son rendez-vous en décembre, la date au plus tôt sera le premier jour de février ;
- La date au plus tard ;
- Le nombre de jours entre l'admission et l'opération.

La matrice de proximité pour les 14 services pris en considération a aussi été réalisée dans les conditions réelles. La partie médicale a été complétée par le médecin-chef. La partie concernant la proximité physique des unités a été réalisée sur base des plans du CHU. La capacité des services est celle des services du CHU durant la période considérée. Elle varie donc quotidiennement en raison de la présence des patients autres que chirurgicaux.

Enfin, les préférences du patient concernant les jours de son opération, bien que prises en compte par le service de programmation lorsque le jour est défini avec le patient, ne sont pas retranscrites. Les données ont donc été générées aléatoirement. Pour chaque journée, le patient a déterminé s'il a une préférence pour le jour ou non. Un patient peut avoir une préférence pour plusieurs jours, sans limitation. Il peut aussi n'avoir aucun jour de préférence.

5 Résultats

Les résultats du modèle ainsi que de ses variantes sont expliqués dans cette section. Pour chaque cas étudié, un tableau résumant les paramètres et les principaux résultats sera présenté.

En effectuant la planification où l'horizon temps pour la journée d'opération est le même que celui pour les séjours de patients, nous avons obtenu des résultats peu réalistes. En effet, en

prenant un horizon de dix jours pour les deux éléments, cela impose que les patients quittent l'hôpital avant le dixième jour. Ce point provoque une sous-occupation massive des plages en fin de période surtout pour les deux derniers jours étant donné que peu de patients sortent le jour ou le lendemain de leur opération. Par conséquent, la charge de travail est reportée sur d'autres jours de la période la rendant plus élevée que normalement. Une adaptation a donc été nécessaire pour contrer le phénomène et avoir des résultats plus exploitables.

De manière à rectifier en partie le problème mentionné, nous allons adapter l'horizon temps de notre modèle, en effectuant la planification comme suit:

- Planification des opérations sur deux semaines (dix jours ouvrables) ;
- Autorisation que le séjour se poursuive sur la période suivante.

On obtient dès lors, deux horizons de temps distincts, un pour la définition des jours d'intervention et un autre pour le séjour des patients.

Le calcul des fonctions objectifs reste inchangé y compris pour le calcul de la sous-utilisation des services qui s'arrête à deux semaines. En effet, il serait illogique de la comptabiliser pour la période suivante alors que la majorité des patients vont seulement être planifiés. En revanche, les capacités des différents services ont déjà été prises en compte de manière à ne pas les dépasser. Elles devront être adaptées en fonction des patients de la période précédente qui seront toujours présents au démarrage de la période suivante. De plus, le modèle cherchant à minimiser les sous-occupations des services, va essayer de mettre un maximum de séjours se terminant avant le dixième jour de manière à occuper le plus de lits possible durant cette période.

5.1 Modélisation de base avec l'ordre de priorité 1

Le premier ordre de priorité pouvant être testé est le suivant :

- 1) Minimisation des pénalités de proximité ;
- 2) Minimisation de la sous-occupation des lits ;
- 3) Minimisation des sur et sous-utilisations des chirurgiens ;
- 4) Minimisation des écarts entre les jours d'opération et les préférences des patients.

La figure 13 montre l'évolution de la présence des patients opérés entre le premier et le dixième jour dans l'hôpital. Cinquante patients seront encore présents le onzième jour. Les derniers patients présents partiront le dix-septième jour.

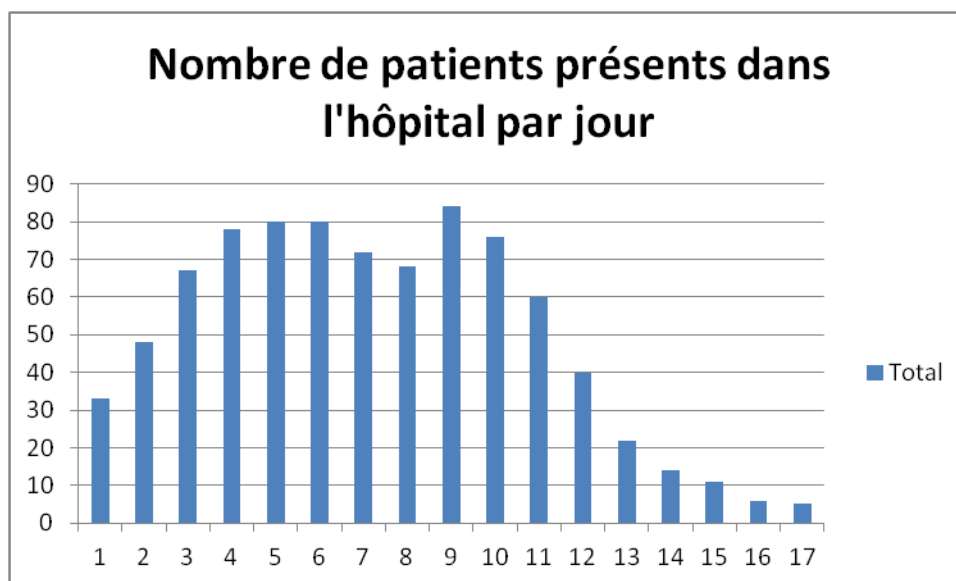


Figure 13 : Présence des patients chirurgicaux sur la période considérée

Un résumé des résultats obtenus est présenté dans le tableau 12. Pour ce modèle qui servira de base pour le point 5.4 et 5.5, une analyse plus détaillée est faite par la suite sur trois axes : les chirurgiens, les préférences des patients et la trajectoire des patients.

Nombre de chirurgiens opérants	28
Nombre d'opérations en électifs	187
Nombre de services	14
Nombre de jours ouvrables	20
Nombre de jours de planification pour les opérations	10
MSS utilisé	Théorique
Jours d'opération	Non fixés
Contraintes supplémentaires	Non
Ordre de priorité des fonctions objectifs	Z1-Z4-Z3-Z2
Mauvaises affectations des patients dans les unités de soins (Z1)	361
Variable d'écart relative aux jours de préférences des patients (Z2)	44
Sur et sous-utilisation des chirurgiens (Z3)	1182
Sous-utilisation des lits dans les unités de soins (Z4)	890
Nombre moyen de services visités par patient	1,49
Nombre moyen de changements de service	0,74
Pourcentage de jours passés dans la bonne unité	86%
Nombre de bonnes affectations le jour de d'opération	182

Tableau 12 : Résumé des résultats de la modélisation avec l'ordre de priorité 1

5.1.1 Les chirurgiens

Parmi les 1182 unités de sur et sous-utilisations des chirurgiens, plus de 50% sont inévitables et existeraient même lors d'une allocation optimale des opérations sans tenir compte des autres facteurs. Elles proviennent du manque d'opérations pour certains chirurgiens qui n'ont pas suffisamment de temps opératoire pour remplir leurs plages. Pour les surutilisations inévitables, elles sont dues aux opérations des chirurgiens qui n'avaient pas de plages horaires sur la période considérée.

5.1.2 Les préférences des patients

Seulement 44 patients sur les 187 n'ont pas été opérés pendant une journée qui avait leur préférence. Il est cependant à noter que ce point n'était pas la priorité du modèle lors de la résolution. En effet, l'objectif Z_2 était placé en dernier, dans l'ordre des objectifs pour ce cas.

5.1.3 Les unités et la trajectoire des patients

La trajectoire du patient représente une cartographie des diverses étapes de l'hospitalisation du patient. Un exemple est présenté sur la figure 14 où le patient est admis le troisième jour pour une opération prévue le quatrième jour. Au cours de son hospitalisation, le patient passera par deux services, le neuvième et le quatrième. Le patient quittera l'hôpital le huitième jour.

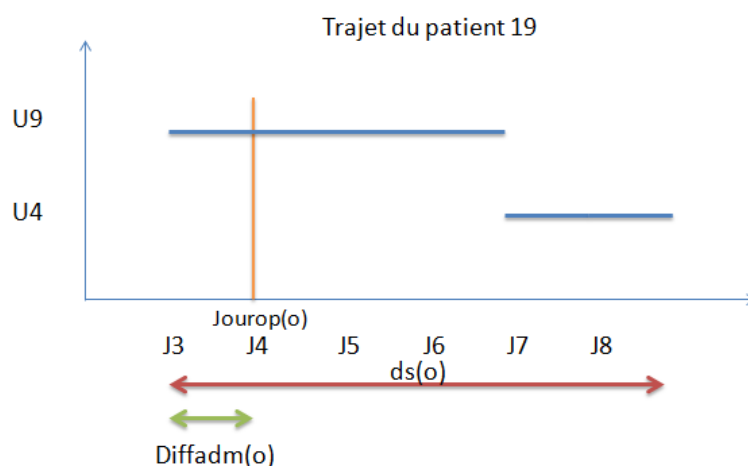


Figure 14 : Exemple de trajectoire d'un patient

Dans le cas étudié, le problème ne vient pas tant du nombre de places disponibles dans l'hôpital mais bien du nombre de places dans les services les plus prisés. En effet, si l'on regarde les services normaux des patients sur la période considérée, 95% des patients sont répartis uniquement sur cinq services. Dès lors, l'objectif est de répartir au mieux les patients

dans le temps et dans les services pour utiliser au mieux les lits disponibles dans les unités les plus demandées. Les patients seront placés dans le service qui répond à l'offre de soins suffisante s'ils n'ont pu être dirigés dans le service idéal. En plaçant l'objectif de proximité en premier lieu, le modèle donne comme résultat la valeur de la meilleure affectation possible. Par manque de place dans les services les plus demandés, celui-ci n'est pas égal à zéro mais à 361.

Les patients ont été souvent affectés au service les plus approprié ou celui juste à côté. Seulement 5% des associations « patient-jour-service » n'ont pas été faites avec le service recommandé ou celui juste après. Ce paramètre est intéressant dans le sens où les patients qui ne sont pas dans le service lié à leur pathologie, sont souvent dirigés vers le service juste en-dessous en termes de rapport proximité géographique et personnel adapté. Ceci fait que les patients d'un même chirurgien qui a souvent un même service d'aval se retrouvent dans un ou deux services et non dispersés dans l'hôpital.

Pour regarder la qualité de la planification réalisée par le modèle, nous avons choisi quatre indicateurs relatifs aux trajectoires des patients :

- Nombre moyen de services visités par les patients :

Il influence la qualité des séjours des patients et potentiellement la qualité des soins. Et ce, puisqu'il y a, à chaque fois, un changement d'équipe soignante.

Comme déterminé dans le tableau 13, seuls 6% des patients auront été affectés à trois services différents au cours de leur séjour à l'hôpital alors que plus de la moitié des patients n'ont séjourné que dans un seul service. Cependant, ce résultat est à nuancer lorsque l'on regarde les changements physiques de service. Ce point sera détaillé par la suite.

Nombre de services visités	Nombre de patients
1	106
2	70
3	11

Tableau 13 : Répartition des patients en fonction du nombre de services différents visités

- Nombre moyen de changements de service :

C'est-à-dire le nombre de fois où les patients passent d'un service à un autre, ce qui nécessite un transport du patient, de ses effets personnels, un transfert d'informations et bon nombre de changements logistiques.

Comme mentionné dans le tableau 12, le nombre moyen de changements de service est inférieur à un. Le maximum est de cinq transferts d'un service vers un autre.

- Pourcentage de jours passés dans la bonne unité :

En moyenne avec ce paramétrage du modèle, les patients passent 86% de leur séjour dans le service adéquat.

- Nombre de bonnes affectations le jour de l'opération :

Le jour de l'opération est un jour clé pour chaque patient y compris dans son unité de soins puisque c'est là qu'il reçoit les soins et la préparation à l'opération ainsi que les soins postopératoires.

Avec la planification effectuée par ce modèle, 182 patients sont dans le service le plus approprié pour leur pathologie, le jour de leur opération.

Minimiser les mouvements de patients entre les services ne faisait pas partie de nos objectifs mais il est intéressant de voir comment la minimisation des pénalités de proximité influence ce point. En effet, si la proximité géographique et la compatibilité du personnel influent sur la qualité des soins, il paraît évident que des changements trop fréquents de service pourraient aussi mener à une perte d'informations et à une insatisfaction des patients concernés. Le système de pénalité fait que dans certains cas, le programme va opérer plusieurs changements pour minimiser ces pénalités. Certains patients pourraient être amenés à changer d'unité tous les jours. Or, dans la réalité, les décideurs bougeront le moins possible les patients.

Pour expliquer ce point, prenons un cas simplifié :

- Trois unités : U1, U2, U3 ;
- Deux patients : le premier a pour unité normale U2 et le deuxième U3 ;
- Le tableau 14 montre la matrice de proximité et le nombre de lits disponibles avant affectation un jour donné.

	UC(o)		
	U1	U2	U3
U1	0	1	3
U2	1	0	1
U3	3	1	0
BNB	2	1	0

Tableau 14 : Matrice de proximité fictive

Idéalement, le patient 1 devrait être affecté dans l'unité 2 et le patient 2 dans l'unité 3. Or, il n'y a pas de lit disponible dans cette dernière étant donné que BNB pour l'unité 3, est égal à

zéro. Le patient 2 pourrait alors aller en unité 1, afin de laisser le patient 1 dans son unité, puisqu'il n'y a qu'un seul lit disponible. Cela donne une pénalité de trois. En revanche, si le programme décide de placer le patient 1 dans l'unité 1 et le deux dans l'unité 2, la pénalité sera de deux. Afin de minimiser les pénalités, le programme va donc préférer changer deux patients.

Sur le modèle adapté donnant la possibilité que le séjour dépasse l'horizon de la planification, encore 5% des patients effectuent trois ou plus de trois transports d'une unité vers une autre. Outre les perturbations et l'inconfort pour les patients, ces changements imposent aussi une charge de travail supplémentaire en termes de brancardage de patients.

Dès lors, il est intéressant de voir l'impact de la limitation des mouvements de patients sur nos objectifs et principalement sur celui concernant la proximité. Cet élément sera développé au point 5.3.1.

5.2 Variation des ordres de priorités des objectifs

5.2.1 Ordre de priorité 2

Comme mentionné précédemment, l'ordre de priorité des objectifs va être modifié de manière à pouvoir constater les effets de ces changements. Dans ce deuxième ordre testé, ce sont les préférences de patients qui ont été optimisées en premier lieu. Les préférences des patients ayant été générées aléatoirement ont mené à ce que chaque patient ait, au minimum, un jour de préférence. Ceci a provoqué une variable d'écart égale à zéro. Donc, tous les patients seront opérés durant une journée qui avait leur préférence.

Le deuxième objectif a été celui de minimiser la somme des sur et sous-utilisations des chirurgiens qui s'élève à 796 unités.

La valeur de l'objectif relatif à l'affection de patient est quant à elle, nettement plus élevée que dans le premier ordre de présenté. Ceci est aussi répercuté sur les quatre indices relatifs à la trajectoire du patient puisqu'ils sont tous moins intéressants pour le patient.

Le tableau 15 reprend les résultats obtenus. A noter que la sous-utilisation des lits est similaire à celle obtenue au point précédent et ce, malgré le fait que l'objectif soit passé de la deuxième à la quatrième position.

Nombre de chirurgiens opérants	28
Nombre d'opérations en électifs	187
Nombre de services	14
Nombre de jours ouvrables	20
Nombre de jours de planification pour les opérations	10
MSS utilisé	Théorique
Jours d'opération	Non fixés
Contraintes supplémentaires	Non
Ordre de priorité des fonctions objectifs	Z2-Z3-Z1-Z4
Mauvaises affectations des patients dans les unités de soins (Z1)	3631
Variable d'écart relative aux jours de préférences des patients (Z2)	0
Sur et sous-utilisation des chirurgiens (Z3)	796
Sous-utilisation des lits dans les unités de soins (Z4)	892
Nombre moyen de services visités par patient	2,75
Nombre moyen de changements de service	2,07
Pourcentage de jours passés dans la bonne unité	43,55%
Nombre de bonnes affectations le jour de d'opération	70

Tableau 15 : Résumé des résultats de la modélisation avec l'ordre de priorité 2

5.2.2 Ordre de priorité 3

Dans ce troisième cas testé, c'est la minimisation des sur et sous-utilisations des chirurgiens qui sera optimisée en premier lieu. Pour cet objectif, la valeur trouvée est de 700 unités (160 pour la surutilisation et 540 pour la sous-utilisation). Ce nombre provient de l'écart entre les plages prévues pour les chirurgiens et la demande durant cette période.

Sur base de cette valeur de 700 unités pour l'objectif Z_3 , la minimisation de la sous-utilisation des lits a ensuite été réalisée. Une valeur de 904 a été obtenue. De même que pour l'ordre de priorité 2, la valeur de l'objectif concernant la proximité est élevée et par conséquent, les indicateurs relatifs à la trajectoire des patients sont moins valables, avec notamment moins de 50% de jours passés dans la bonne unité. Le phénomène est expliqué en partie par l'afflux important de patients vers un même service le même jour. En effet, beaucoup de patients d'un même chirurgien sont affectés dans le même service idéal comme affectation. Or, pour optimiser les plages de chirurgiens, les interventions sur les patients n'ont pas été étalées dans le temps mais regroupées sur les mêmes jours d'opération. Le tableau 16 résume les résultats obtenus.

Nombre de chirurgiens opérants	28
Nombre d'opérations en électifs	187
Nombre de services	14
Nombre de jours ouvrables	20
Nombre de jours de planification pour les opérations	10
MSS utilisé	Théorique
Jours d'opération	Non fixés
Contraintes supplémentaires	Non
Ordre de priorité des fonctions objectifs	Z3-Z4-Z1-Z2
Mauvaises affectations des patients dans les unités de soins (Z1)	3500
Variable d'écart relative aux jours de préférences des patients (Z2)	88
Sur et sous-utilisation des chirurgiens (Z3)	700
Sous-utilisation des lits dans les unités de soins (Z4)	904
Nombre moyen de services visités par patient	2,6
Nombre moyen de changements de service	1,9
Pourcentage de jours passés dans la bonne unité	45%
Nombre de bonnes affectations le jour de d'opération	80

Tableau 16 : Résumé des résultats de la modélisation avec l'ordre de priorité 3

5.3 Variation de contraintes et de paramètres sur base de l'ordre de priorité 1

5.3.1 Modélisation avec limitation du nombre de changements d'unités

Comme énoncé précédemment, certains patients sont amenés à bouger beaucoup dans l'hôpital et ce, à cause de leur(s) changement(s) de service. Dès lors, les décideurs pourraient imposer un nombre de changements maximal par patient. Cet élément peut être ajouté à notre modèle par l'ajout d'un bloc de contraintes et d'une variable supplémentaire liée aux mouvements des patients. Ces deux éléments sont présentés ci-dessous.

La première contrainte (1) force la variable binaire $w(o, u, j)$ qui représente l'arrivée d'un patient dans un service u le jour j , à être égale à un lorsque le patient n'est pas présent dans le service u en $J-1$. La deuxième contrainte (2) restreint le nombre d'arrivées dans un service, tous services confondus, pour chaque patient durant son séjour.

Le choix de deux mouvements maximum, durant le séjour a été effectué. Il permet ainsi à un patient qui doit quitter son service optimal pour faute de place, d'y revenir si l'occasion se présente. La somme des $w(o, u, j)$ pour chaque patient doit donc être inférieure à trois

puisque le mouvement lors de l'admission du patient n'est pas pris en considération comme étant un mouvement durant le séjour du patient.

$$w(o, u, j) \geq z(o, u, j) - z(o, u, j - 1) \quad (1)$$

$$\sum_u^U \sum_j^J w(o, u, j) \leq 3 \quad (2)$$

MSS utilisé	Théorique
Jours d'opération	Non fixés
Contraintes supplémentaires	Limitation des changements d'unités
Ordre de priorité des fonctions objectifs	Z1-Z4-Z3-Z2
Mauvaises affectations des patients dans les unités de soins (Z1)	367
Variable d'écart relative aux jours de préférences des patients (Z2)	51
Sur et sous-utilisation des chirurgiens (Z3)	1194
Sous-utilisation des lits dans les unités de soins (Z4)	899
Nombre moyen de services visités par patient	1,47
Nombre moyen de changements de service	0,65
Pourcentage de jours passés dans la bonne unité	85,46%
Nombre de bonnes affectations le jour de d'opération	181

Tableau 17 : Résumé des résultats de la modélisation avec limitation des changements de service (ordre de priorité 1)

Le tableau 17 présente un résumé des résultats obtenus lorsqu'on limite les mouvements des patients à trois mouvements maximum. En comparaison avec les premiers résultats présentés (tableau 12), il est logique que le nombre moyen de changements d'unités baisse étant donné qu'il est limité. Dans le cas présent, 107 patients ne changeront pas de service, 39 changeront une fois et 41 changeront deux fois.

Les résultats en termes de valeurs des objectifs sont quant à eux sensiblement pareils à ceux obtenus sans l'ajout de la limitation des mouvements.

5.3.2 Planification sur base du MSS réel et des jours d'opération réels

Pour avoir un point de comparaison entre les résultats de notre modèle, il est intéressant de regarder les résultats en utilisant les jours d'opération réels et le *Master Surgical Schedule* modifié par le bureau du quartier opératoire. Il convient de s'occuper principalement des résultats concernant l'affectation des patients aux différents services de l'hôpital, de l'utilisation des lits et des chirurgiens. En effet, les préférences ayant été définies de manière

aléatoire, la correspondance entre ces dernières et le jour réel de l'opération n'a pas vraiment de valeur.

Comme pour les cas précédents, un résumé des résultats est proposé dans le tableau 18. Celui-ci sert de base pour la comparaison par rapport aux résultats du modèle présenté au point 5.1. Pour rappel, ce dernier étudiait la planification des patients et la définition de leur jour d'opération à partir du MSS théorique avec le même ordre de priorité pour les fonctions objectifs.

Il apparaît clairement que la sur et la sous-occupation des chirurgiens diminuent en raison du meilleur dimensionnement des plages horaires de ces derniers. En revanche, la proximité augmente de 249 unités. Ce qui veut dire que les patients sont moins bien positionnés dans les services, notamment en préopératoire et en postopératoire puisque 34 patients supplémentaires ne sont pas dans le bon service le jour de leur opération. Le nombre moyen de services visités et de changements de service augmentent aussi. Au contraire, le pourcentage de bonne affectation diminue. Cette perte de performance sur le plan de l'affectation des patients s'explique par le fait que la fixation des jours d'opération laisse moins de marge de manœuvre au modèle pour disposer au mieux les patients dans le temps et ce, bien que cet objectif soit placé en première position.

MSS utilisé	Mss modifié
Jours d'opération	Fixés
Contraintes supplémentaires	Non
Ordre de priorité des fonctions objectifs	Z1-Z4-Z3-Z2
Mauvaises affectations des patients dans les unités de soins (Z1)	610
Variable d'écart relative aux jours de préférences des patients (Z2)	88
Sur et sous-utilisation des chirurgiens (Z3)	516
Sous-utilisation des lits dans les unités de soins (Z4)	844
Nombre moyen de services visités par patient	1,61
Nombre moyen de changements de service	1,03
Pourcentage de jours passés dans la bonne unité	79,4%
Nombre de bonnes affectations le jour de d'opération	148

Tableau 18 : Résumé des résultats de la modélisation avec les jours d'opération et le MSS réels (ordre de priorité 1)

5.3.3 Planification sur base du Master Surgical Schedule réel

Comme énoncé précédemment, l'hôpital considéré utilise une technique de *modified block scheduling* en réallouant au besoin des plages horaires pour coller au mieux à la demande des chirurgiens. Nous avons donc testé le modèle en utilisant le MSS réellement effectué afin de voir les impacts notamment sur la sur et la sous-utilisation des chirurgiens.

Les résultats présentés dans le tableau 19 seront comparés à deux cas déjà étudiés :

- Premièrement si l'on compare au modèle précédent (5.3.2), contrairement à ce modèle les jours d'opération n'ont pas été fixés. L'idée est de voir l'impact sur les résultats en utilisant le MSS le plus adapté. Si l'affectation des jours d'intervention détériore de l'utilisation des chirurgiens, elle permet une meilleure affectation des patients aux services. En effet, la proximité diminue et l'ensemble des quatre indicateurs choisis sont meilleurs.
- Deuxièmement, si l'on compare avec les premiers résultats qui ont été obtenus sur la base du MSS théorique (5.1), les valeurs des objectifs concernant l'affectation des patients et l'utilisation de lits sont identiques. En effet, le paramètre qui a changé par rapport à ce modèle est le MSS, et celui-ci n'intervient pas dans les deux objectifs mentionnés. Les quatre indicateurs concernant la trajectoire des patients sont eux-aussi presque identiques pour les mêmes raisons. L'utilisation des chirurgiens est quant à elle meilleure grâce au dimensionnement plus adapté des plages horaires.

MSS utilisé	MSS modifié
Jours d'opération	Non fixés
Contraintes supplémentaires	Non
Ordre de priorité des fonctions objectifs	Z1-Z4-Z3-Z2
Mauvaises affectations des patients dans les unités de soins (Z1)	361
Variable d'écart relative aux jours de préférences des patients (Z2)	44
Sur et sous-utilisation des chirurgiens (Z3)	970
Sous-utilisation des lits dans les unités de soins (Z4)	890
Nombre moyen de services visités par patient	1,5
Nombre moyen de changements de service	0,75
Pourcentage de jours passés dans la bonne unité	85%
Nombre de bonnes affectations le jour de d'opération	180

Tableau 19 : Résumé des résultats de la modélisation avec le MSS réel (Ordre de priorité 1)

5.4 Analyse de la programmation faite par le modèle de planification et l'heuristique d'ordonnancement

De manière à tester la résistance de notre programmation, il est intéressant de la soumettre à divers aléas et incertitudes. Pour cela, trois éléments vont être testés ci-après : l'incorporation des urgences, les durées réelles des opérations et le chemin imprécis des patients. La suite des analyses et des comparaisons se fera à partir de ces résultats obtenus par le modèle initial avec l'ordre de priorité 1 présenté au point 5.1.

5.4.1 Utilisation des durées réelles des opérations

Pour réaliser la planification, nous nous sommes basés sur les médianes. Ces données sont les données réelles prises en compte pour réaliser le programme opératoire.

Etant donné que la modélisation mathématique a déterminé les jours d'opération pour l'ensemble des patients, il nous est possible de réaliser l'ordonnancement. La figure 15 montre un exemple de programme opératoire pour une journée déterminée. Les opérations présentes sont uniquement celles prévues, c'est-à-dire les cas électifs.

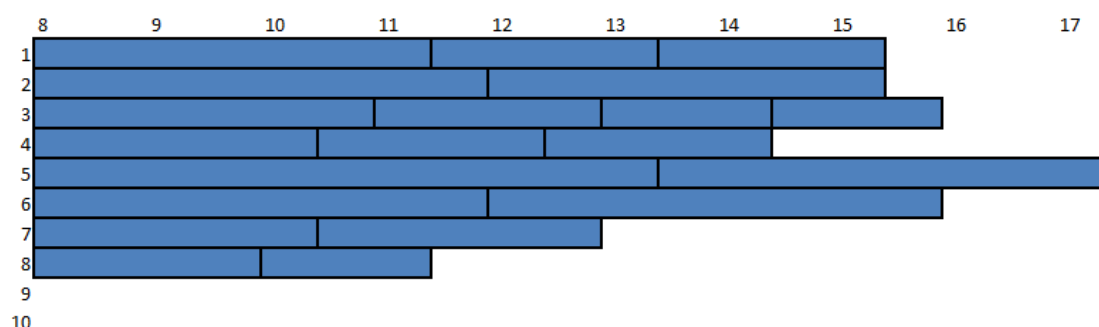


Figure 15 : Exemple de programme opératoire

Cependant, il est intéressant de regarder ce qu'il se serait passé en termes de temps si nous avions appliqué ce programme. Que seraient devenues les sur et les sous-utilisations ?

La figure 16 montre l'évolution du programme si les durées réelles sont appliquées. Au total, 6h30 supplémentaires ont été nécessaires pour réaliser le programme initialement prévu.

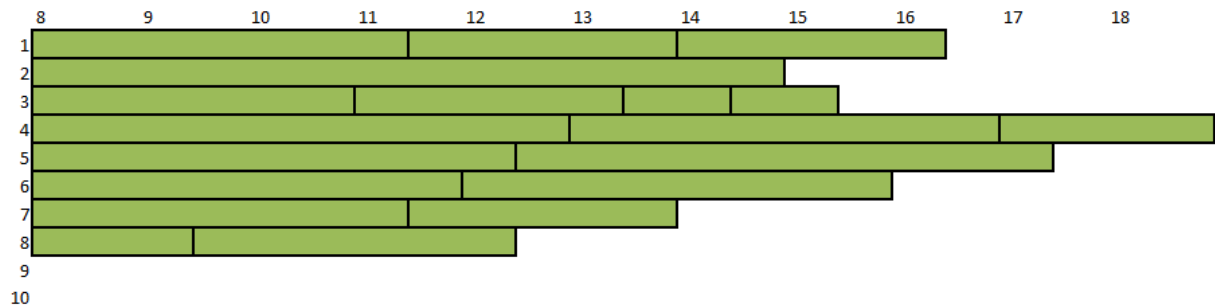


Figure 16 : Programmation en utilisant les données réelles

De manière générale, en gardant les mêmes jours d’opération pour l’ensemble des patients, la somme des sur et sous-utilisations des chirurgiens passe de 1182 à 1579 unités de temps soit 198,5 heures de différence.

5.4.2 Insertion des urgences

Connaissant les urgences qui ont dû être effectuées au mois de février et les jours de celles-ci, il est intéressant de les incorporer dans le programme opératoire comme elles sont réellement apparues et voir les modifications en termes de sur et sous-utilisations des temps de travail des chirurgiens. Durant la période considérée, l’hôpital a fait face à 35 urgences chirurgicales pendant les jours ouvrables, hors urgences de nuit.

Un exemple d’incorporation des urgences est présenté par la figure 17. Les éléments verts représentent les cas électifs avec leur durée réelle. Les éléments rouges sont les urgences telles qu’elles auraient été assignées dans les différentes salles d’opération. Et ce, notamment, sur base du chirurgien qui va réaliser chaque urgence.

Le cas étudié ne le nécessite pas, cependant le modèle pourrait très bien inclure du temps pour les urgences en imposant, lorsque nécessaire, une sous-utilisation des chirurgiens concernés, cette dernière pouvant être utilisée pour l’insertion des urgences.

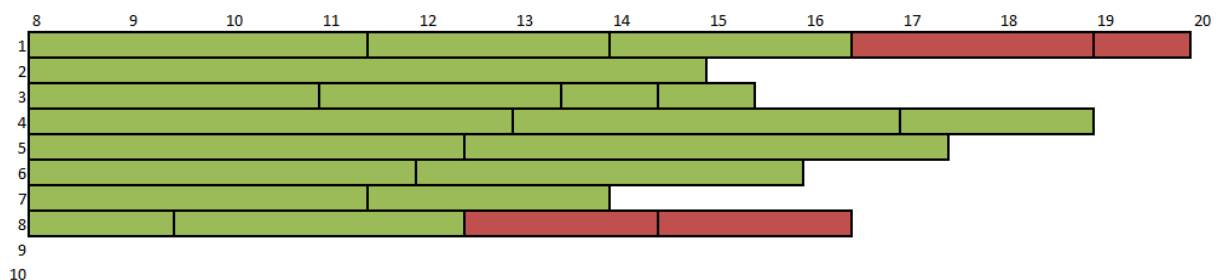


Figure 17 : Programmation avec l’incorporation des urgences

5.4.3 Chemin imprécis du patient

Comme mentionné précédemment, le chemin imprécis du patient concerne l'incertitude sur la destination du patient juste après son opération, c'est-à-dire la salle de réveil ou l'unité de soins intensifs. Avec quinze lits en salles de réveil, le nombre de places disponibles n'est pas une contrainte. Une bonne prévision pourrait éviter des charges de travail trop inégales en salle de réveil. La figure 18 montre cette répartition des patients en salles de réveil au cours d'une journée. Il apparaît que la charge de travail avant 11 heures et après 17 heures est faible. En revanche, contrairement à ceux qui vont en salle de réveil, un patient qui doit aller dans l'unité de soins intensifs peut bousculer le programme s'il n'y pas de place disponible pour l'accueillir. Sur la période considérée, la programmation poserait problème deux jours consécutifs.

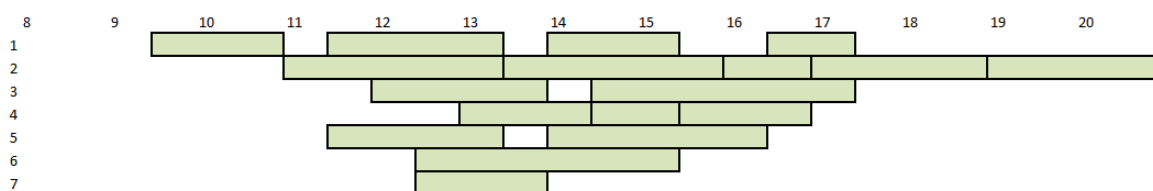


Figure 18 : Occupation de la salle de réveil

6 Recommandations

263 des 334 soit 78% des patients étaient connus avant le premier jour du mois. En moyenne, et urgences non comprises pour les dix spécialités chirurgicales, le délai entre la prise de rendez-vous et l'opération est supérieur à 20 jours ouvrables. Si l'on prend chaque chirurgien indépendamment, nous avons une moyenne inférieure à 20. L'utilisation de ces délais permettrait d'ajuster le plus précisément possible la répartition des opérations pour répondre au mieux aux besoins des patients. Une prise en considération du nombre potentiel d'urgences par plage pourrait même être envisagée. En effet, si l'on compare les résultats en fixant les jours d'opération au moment de la prise de rendez-vous et ceux obtenus en fixant les jours d'intervention une fois que tous les patients sont connus, les résultats globaux du deuxième cas sont meilleurs.

L'utilisation des listes d'attente permettrait aussi de répartir un peu plus la charge de travail en salle de réveil bien que l'arrivée des patients dépend fortement de la durée de leur opération.

La construction du *Master Surgical Schedule* influe beaucoup sur la qualité de la planification et de l'ordonnancement. Elle joue aussi un rôle important dans la gestion des lits. En effet, les

patients d'une même spécialité ont souvent leur lit d'aval au sein d'un service identique. En ayant plusieurs chirurgiens de la même spécialité le même jour, les flux de patients vers le même service sont importants et non répartis. Une limitation de ce phénomène permettra un meilleur nivellement de l'utilisation des lits et une meilleure répartition de la charge de travail pour le personnel hospitalier. Plusieurs auteurs tels que Beliën et Demeulemeester (2007) ou encore Fügener et al. (2014) ont d'ailleurs écrit des modèles pour optimiser les flux en partant de la construction du *Master Surgical Schedule*.

7 Limites du modèle

Une première limite est que l'unité idéale du patient est identique tout au long de son séjour. En effet, dans la réalité, celle-ci peut changer au cours du temps, et plus particulièrement pour les patients qui vont séjourner aux soins intensifs après leur opération.

Une deuxième limite intervient sur la possibilité pour chaque chirurgien d'être au programme même s'il n'a pas de temps opératoire ce jour-là. En effet, les ODSURG (s, j) ne sont pas limités au chirurgien initialement prévu. Dans la réalité, ce chirurgien pourrait ne pas être disponible pour opérer ce jour-là pour cause de consultations prévues ou parce qu'il opère ailleurs comme par exemple, à l'hôpital de jour. Pour solutionner cette limite, il faudrait limiter les ODSURG (s, j). Une solution possible serait la création d'un paramètre supplémentaire MAXODSURG (s, j) pour chaque chirurgien, chaque jour. Ce dernier serait égal à zéro lorsque le chirurgien s est dans l'incapacité d'opérer le jour j . La solution proposée nécessite aussi une contrainte supplémentaire :

$$ODSURG(s, j) \leq MAXODSURG(s, j) \quad \forall s, j$$

Par l'application de cette contrainte, le chirurgien n'aura pas un ODSURG (s, j) positif lorsque MAXODSURG (s, j) est égal à zéro. Notons aussi que ce paramètre pourrait être utilisé pour limiter la sur-occupation des chirurgiens au quotidien.

La troisième limite vient de l'heuristique utilisée. En effet, la qualité des solutions est fortement dépendante du moment de l'arrêt du programme et par conséquent des variables qui seront fixées. Elle est donc en partie aléatoire.

Deux autres limites ont été évoquées lors de l'analyse du modèle et des variantes du modèle ont été proposées. Ainsi, la limite concernant la minimisation de pénalités qui entraîne de nombreux mouvements de patients a été solutionnée par l'ajout d'une contrainte. En ce qui

concerne la troisième limite provenant de l'obligation pour les patients de terminer leur séjour à l'hôpital dans la période considérée, elle a été atténuée par une période plus longue pour la planification des séjours permettant des opérations jusqu'au dernier jour de la période prévue initialement.

8 Conclusion

Dans cette partie, nous avons appliqué notre modèle à un cas réel afin de le tester. Les quatre composantes de notre fonction objectif ont été classées de différentes façons pour avoir une idée de l'impact de ces variations. Plusieurs modifications ou variantes ont été proposées pour mieux coller à la réalité. Les résultats obtenus ont été détaillés et comparés.

Dans un deuxième temps, une analyse de l'impact des différentes perturbations et incertitudes sur le programme a été proposée. Enfin, les limites de notre modèle et les différentes recommandations que nous avons pu tirer de ce dernier ont été présentées.

Conclusion générale et perspectives

Dans ce travail, nous avons montré la place centrale qu'occupe le bloc opératoire. Ses diverses composantes ainsi que son intégration dans le plateau médico-technique ont été énoncées de même que les différents flux de patients et de matériels. Parmi les éléments pouvant améliorer l'efficacité de ce dernier, le choix de se concentrer sur le programme opératoire a été fait. Les diverses méthodes de programmation ont été détaillées. Même si la méthode par réservation de plages est la plus utilisée, toutes présentent certains avantages et inconvénients. Un point d'attention a aussi été mis sur l'ensemble des éléments pouvant venir perturber le programme opératoire. Différents modèles qui constituent notre revue de la littérature ont été développés et comparés pour voir quelles étaient les contraintes et les fonctions objectives les plus courantes mais aussi les plus spécifiques.

Un modèle de planification a ensuite été développé. Ce dernier intègre des éléments nouveaux relatifs à l'affectation des patients tels que l'autorisation de changement de service au cours d'un séjour et le degré de proximité entre les services. Il est composé de quatre fonctions objectives qui ont été combinées en utilisant une méthode multiobjectif. L'heuristique *Fix and Solve* a été proposée pour le solutionner. Il a ensuite été testé sur un cas d'application réel pour lequel la proximité et les mouvements de patients étaient une solution à leur manque de place dans les unités les plus demandées. Les données réelles provenant du CHU Dinant-Godinne UCL Namur ont permis d'avoir des résultats approchés car ils proviennent d'une heuristique, pour une programmation de 187 opérations sur dix salles d'opération. Une analyse des perturbations a ensuite été effectuée sur le programme opératoire comprenant la planification faite pour la modélisation mathématique et l'ordonnancement réalisé grâce à l'heuristique utilisée à l'hôpital.

Plusieurs perspectives peuvent être énoncées pour des travaux futurs :

- Faire la distinction entre le service avant et après l'opération ;
- Inclure dans le modèle, le lit d'aval, et notamment le nivellement de la demande de lits en soins intensifs ;
- Inclure les disponibilités des chirurgiens hors de leur plage MSS ;
- Inclure une limitation sur la capacité totale du bloc opératoire ;
- Inclure d'autres ressources ;

- Inclure le caractère aléatoire des durées de séjour des patients et des durées d'opérations.

Diverses améliorations sont donc possibles pour inclure davantage de paramètres qui doivent, chaque jour, être pris en considération par les gestionnaires hospitaliers lors de l'élaboration du programme opératoire.

Bibliographie

1. Articles et livres

Addis, B., Carella, G., & Sanna, A. (2014). A robust optimization approach for the operating room planning problem with uncertain surgery duration. In A. Matta, J. Li, E. Sahin, E. Lanzarone & J. Fowler (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Health Care Systems Engineering* (pp. 175-190). *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*. doi : 10.1007/978-3-319-01848-5

Aniba, S., & Jebali, A. (2011). CIGI 2011 : Approches stochastiques pour la planification des interventions au bloc opératoire. En ligne

http://www.simagi.polymtl.ca/cigi2011/articles/_Aniba-Approches.pdf

Aringhieri, R., Landa, P., Soriano, P., Tànfani, E., & Testi, A. (2015 a). A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem, *Computers & Operations Research* 54, 21-34. doi : 10.1016/j.cor.2014.08.014

Aringhieri, R., Landa, P., & Tànfani, E. (2015 b). Assigning surgery cases to operating rooms: A VNS approach for leveling ward beds occupancies, *Electronic notes in discrete mathematics* 47, 173-180. doi: 10.1016/j.endm.2014.11.023

Astaraky, D., & Patrick, J. (2015). A simulation based approximate dynamic programming approach to multi-class, multi resources surgical scheduling, *European Journal of Operational Research*. doi: 10.1016/j.ejor.2015.02.032

Beaulieu, I., Gendreau, M., & Soriano, P. (2012). Operating rooms scheduling under uncertainty. In E. Tanfani & A. Testi (EDS), *Advanced Decision Making Methods Applied to Health Care* (pp. 13-32). *International Series in Operations Research & Management Science*, 173. doi :10.1007/978-88-470-2321-5

Beliën, J., & Demeulemeester, E. (2007). Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy, *European Journal of Operational Research* 176, 1185-1204. doi :10.1016/j.ejor.2005.06.063

Bulgarini, N., Di Lorenzo, D., Lori, A., Matarrese, D., & Schoen, F. (2014). Operating room joint planning and scheduling. In A. Matta, J. Li, E. Sahin, E. Lanzarone & J. Fowler (Eds.),

Proceedings of the International Conference on Health Care Systems Engineering (pp. 127-138). *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*. doi :10.1007/978-3-319-01848-5

Cardoen, B., Demeulemeester, E., & Beliën, J. (2010). Operating room planning and scheduling: A literature review, *European Journal of Operational Research*, 201(3), 921-932. doi :10.1016/j.ejor.2009.04.011

Chaabane, S., Meskens, N., Guinet, A., & Laurent, M. (2007). Comparaison des performances des politiques de programmation opératoire, *Logistique & Management* 15(1), 17-26. En ligne <http://www.dial.academioulouvain.be/handle/boreal:18917>

Combes, C., Dussauchoy, A., & Meskens, N. (2008 a). Un modèle de loi bidimensionnelle : application aux différentes durées liées à l'activité chirurgicale, *Journal de la Société Française de Statistique*, 149(3). En ligne <http://dial.academioulouvain.be/handle/boreal:20840>

Combes, C., Meskens, N., Rivat, C., & Vandamme, J-P. (2008 b). Using a KDD process to forecast the duration of surgery, *Int. J. Production Economics* 112, 279–293. doi :10.1016/j.ijpe.2006.12.068

Dexter, F. (1996). Application of prediction levels to OR scheduling. *AORN J.* 63(3), 607-615. En ligne <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8651672>

Dexter F., Epstein R. H., & Penning D. H. (2001). Statistical analysis of Postanesthesia Care Unit staffing at a surgical Suite with Frequent Delays in Admission from OR. A Case Study, *Anesthesia & Analgesia*, 92, 947-949. En ligne http://www.franklindexter.net/Bibliography/REFERENCES_PACUStaffing.htm

Durant, G. (2014). *Le financement des hôpitaux en Belgique. Situation au 1^{er} octobre 2014*. Waterloo : Wolters Kluwer

Fei, H. (2006). Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnancement des blocs opératoires. Thèse de Doctorat en sciences de gestion des Facultés Universitaires Catholiques de Mons, Mons et en optimisation et sûreté des systèmes de l'Université de Technologie de Troyes, Troyes.

Fei, H., Meskens, N., & Chu, C. (2010). A planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy, *Computers & Industrial Engineering* 58, 221-230. doi :10.1016/j.cie.2009.02.012

Fügener, A., Hans, E. W., Kolisch, R., Kortbeek, N., & Vanberkel, P. T. (2014). Master surgery scheduling with consideration of multiple downstream units, *European Journal of Operational Research*, 239(1), 227-236. doi :10.1016/j.ejor.2014.05.009

Ghazalbash, S., Sepehri, M. M., Shadpour, P., & Atighehchian, A. (2012). Operating Room Scheduling in Teaching Hospitals, *Advances in Operations Research*, 2012, 1-16. doi :10.1155/2012/548493

Gomes, C., Almada-Lobo, B., Borges, J., & Soares, C. (2012). Integrating Data Mining and Optimization techniques on surgery scheduling, Advanced Data Mining and Applications, 8th International Conference, ADMA 2012, Nanjing, China, December, 15-18, 2012. Proceedings. *Lecture Notes in Computer Science* 7713, 2012, 589-602. doi :10.1007/978-3-642-35527-1_49

Guerriero, F., & Guido, R. (2011). Operational research in the management of the operating theatre: a survey, *Health Care Management Sciences*, 14, 89-114. doi :10.1007/s10729-010-9143-6

Hammami, S., Ladet, P., Atidel, B.H.A., & Ruiz, A. (2007). Une programmation opératoire robuste, *Logistique & Management* 15(1), 95-111. En ligne http://www.logistique-management.com/document/pdf/article/15_1_2011.pdf

Hans, E. W., van Houdenhoven, M., & Hulshof, P. J. H. (2012). A framework for health care planning and control. In R. Hall (Ed.), *Handbook of health care systems scheduling*. Springer International Series in Operations Research & Management Science, 168, 303–320. New York : Springer.

Hashemi Doulabi, S.H., Rousseau, L.-M., & Pesant, G. (2014). A constraint programming-based column generation approach for operating room planning and scheduling. In H. Simonis (Ed.), *Integration of AI and OR techniques in constraint programming* (pp. 455-463). Springer Switzerland: 2014. doi : 10.1007/978-3-319-07046-9

Jebali, A., & Bouchriha, H. (2007). Evaluation de deux stratégies de planification des interventions dans un bloc opératoire central, *Logistique & Management*, 15(1), 27-36. En ligne http://www.logistique-management.com/document/pdf/article/15_1_2005.pdf

Li, J.-S., Tian, Y., Liu, Y.-F., Shu, T., & Liang, M.-H. (2013). Applying a BP neural network model to predict the length of hospital stay. In G. Huang, X. Liu, J. HE, F. Klawonn & G. Yao (Eds.), *Health Information Science, Second International Conference, HIS 2013 London, UK, March 2013 Proceedings* (PP. 18-29). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi : 10.1007/978-3-642-37899-7

Marques, I., Captivo, M. E., & Vaz Pato, M. (2012). An integer programming approach to elective surgery scheduling Analysis and comparison based on a real case, *OR spectrum* 34, 407-427. doi :10.1007/s00291-011-0279-7

Marshall, A., Vasilakis, C., & El-Darzi, E. (2005). Length of Stay-Based Patient Flow Models: Recent Developments and Future Directions, *Health Care Management Science*, 8(3), 213-220. doi: 10.1007/s10729-005-2012-z

Meskens, N. (2013 a). *Data Mining*. Syllabus. Université Catholique de Louvain, Mons, Diffusion universitaire.

Meskens, N., Duvivier, D., & Hanset, A. (2013 b). Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team, *Decision Support Systems* 55, 650–659. doi :10.1016/j.dss.2012.10.019

Min, D., & Yih, Y. (2010). Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints, *European Journal of Operational Research* 206, 642-652. doi :10.1016/j.ejor.2010.03.014

Molina-Pariente, J. M., Fernandez-Viagas, V., & Framinan J. M. (2015). Integrated operating room planning and scheduling problem with assistant surgeon dependent surgery durations, *Computers & Industrial Engineering* 82, 8-20. doi :10.1016/j.cie.2015.01.006

Prasanna Devi, S., Suryaprakasa Rao, K., & Sai Sangeetha, S. (2012). Prediction of surgery times and scheduling of operation theaters in ophthalmology department, *Journal of medical systems* 36(2), 415-430. doi :10.1007/s10916-010-9486-z

- Pulido, R., Aguirre, A. M., Ibanez-Herrero, N., Ortega-Mier, M., Garcia-Sanchez, A., & Mendez, A. (2014). Optimization methods for the operating room management under uncertainty: stochastic programming vs. decomposition approach, *Journal of Applied Operational Research* 6(3), 145–157. En ligne <http://www.tadbir.ca/jaor/archive/v6/n3/jaorv6n3p145.pdf>
- Roland, B., Di Martinelly, C., Riane, F., & Pochet, Y. (2010). Scheduling an operating theatre under human resource constraints, *Computers & Industrial Engineering* 58, 212-220. doi :10.1016/j.cie.2009.01.005
- Saadani, N., E., H., & Guinet, A. (2012). Heuristics for Operating Theatre Scheduling: Following the Patient, *Supply Chain Forum: an International Journal* 13(1), 38-49. En ligne <http://www.ingentaconnect.com/content/bem/scfij;jsessionid=3i3seeaijti0.alice>
- Saadouli, H., Jerbi, B., Dammak, A., Masmoudi, L., & Bouaziz, A. (2015). A stochastic optimization and simulation approach for scheduling operating rooms and recovery beds in an orthopedic surgery department, *Computers & Industrial Engineering* 80, 72-79. 10.1016/j.cie.2014.11.021
- Stuart, K., & Kozan, E. (2012). Reactive scheduling model for the operating theatre, *Flexible Services and Manufacturing Journal* 24(3), 400–421. doi :10.1007/s10696-011-9111-6
- Su, M.-C., Lai, S.-C., Wang, P.-C., Hsieh, Y.-Z., & Lin, S.-C. (2011). A Somo-based approach to operating room scheduling problem, *Expert Systems with Application* 38, 15447-15454. doi :10.1016/j.eswa.2011.06.016
- Van Essen, J.T., Hans, E.W., Hurink, J.L., & Oversberg, A. (2012). Minimizing the waiting time for emergency surgery. *Operations Research for Health Care*, 1, 34-44. doi :10.1016/j.orhc.2012.05.002
- Van Huele, C., & Vanhoucke, M. (2014). Analysis of the integration of the physician rostering problem and the surgery scheduling problem, *Journal of medical systems*, 28(43), 1-16. doi :10.1007/s10916-014-0043-z
- Van Vyve, M. (2014). *Tools for Supply Chain Management*. Syllabus. Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Diffusion universitaire.

Vijayakumar, B., Parikh, P., Scott, R., Barnes, A., & Gallimore, J. (2013). A dual bin-packing approach to scheduling surgical cases at a publicly-funded hospital, *European Journal of Operational Research* 224(3), 583–591. doi :10.1016/j.ejor.2012.09.010

Wang, Y., Tang, J., & Fung, R. Y. K. (2014 a). A column-generation-based heuristic algorithm for solving operating theater planning problem under stochastic demand and surgery cancellation risk, *Int. J. Production Economics* 158, 28-36. doi : 10.1016/j.ijpe.2014.07.015

Wang, Y., Tang, J., Pan, Z., & Yan, C. (2014 b). Particle swarm optimization-based planning and scheduling for a laminar-flow operating room with downstream resources, *Soft computing*. doi :10.1007/s00500-014-1453-z

Zhao, Z., & Li, X. (2014). Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming, *Operations Research for Health Care* 3, 160–167. doi :10.1016/j.orhc.2014.05.003

2. Rapports

Health Consumer Powerhouse (2013), Euro Health Consumer Index 2013 report, ISBN 978-91-980687-2-6. En ligne <http://www.healthpowerhouse.com/files/ehci-2013/ehci-2013-report.pdf>.

Van de Voorde, C., Van den Heede, K., Obyn, C., Quentin, W., Geissler, A., Wittenbecher, F., Busse, R., Magnussen, J., Camaly, O., Devriese, S., Gerkens, S., Mispion, S., Neyt, M., & Mertens, R. (2014 a). Conceptual framework for the reform of the Belgian hospital payment system. *Health Services Research (HSR) Brussels: Belgian Health Care Knowledge Centre (KCE). KCE Reports* 229. D/2014/10.273/68.

Van de Voorde, C., Van den Heede, K., & Mertens, R. (eds.) (2014 b). Cadre conceptuel pour la réforme du financement des hôpitaux – Synthèse. *Health Services Research (HSR). Bruxelles: Centre Fédéral d'Expertise des Soins de Santé (KCE). KCE Reports* 229Bs. D/2014/10.273/66.

3. Pages internet

Commission Européenne (2014), *Eurostat Base de données Population au 1er janvier par âge et sexe*. En ligne

http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_pjan&lang=fr, consulté le 25 décembre 2014.

Fico Xpress Optimization Suite, (2009). *Xpress Optimazer reference manual*. En ligne <http://www.fico.com/en/node/8140?file=5097>

Organisation de Coopération et de Développement Économiques, (2014). *OECD Health Statistics 2014*. En ligne <http://www.oecd.org/els/health-systems/health-data.htm>, consulté le 15 février 2015.

4. Textes législatifs

Arrêté royal du 15 décembre 1978 fixant des normes spéciales pour les hôpitaux et services universitaires (1978). Moniteur belge, 4 juillet 1979, p.7518.

Arrêté royal du 2 avril 2014 fixant les normes auxquelles un programme de soins pour enfant doit répondre pour être agréé (2014). Moniteur belge, publié le 18 avril 2014.

