



Optimisation et aide à la décision pour la programmation des opérations électives et urgentes

Afef Bouguerra

► To cite this version:

Afef Bouguerra. Optimisation et aide à la décision pour la programmation des opérations électives et urgentes. Recherche opérationnelle [math.OC]. Université de Lorraine, 2017. Français. ⟨NNT : 2017LORR0171⟩. ⟨tel-01778002⟩

HAL Id: tel-01778002

<https://theses.hal.science/tel-01778002v1>

Submitted on 25 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Optimisation et aide à la décision pour la programmation des opérations électives et urgentes

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 7 juillet 2017

pour l'obtention du

Doctorat de l'Université de Lorraine

(Automatique, Traitement de signal et des images, Génie informatique)

par

Afef Bouguerra

Composition du jury

<i>Rapporteurs :</i>	Mme Atidel HADJ-ALOUANE, Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieur de Tunis M. Farouk YALAOUI, Professeur, Université de Technologie de Troyes
<i>Examineurs :</i>	Mme Christelle GUERET, Professeur, Université d'Angers M.YannickKERGOSIEN, Maître de conférences, Université François-Rabelais, Tours
<i>Directrice de thèse :</i>	Mme Nathalie SAUER, Professeur, Université de Lorraine
<i>Co-Directeur de thèse :</i>	M. Christophe SAUVEY, Maître de conférences, Université de Lorraine
<i>Invité :</i>	M. Jean-Claude KNEIB, Directeur des Hôpitaux de Sarreguemines

*« Success is walking from failure to
failure with no loss of enthusiasm »*

Winston Churchil

Résumé

Au sein d'un établissement hospitalier, le bloc opératoire représente un des secteurs les plus emblématiques et les plus coûteux. Le fonctionnement du bloc opératoire est orchestré par un programme opératoire qui consiste à construire un planning prévisionnel des interventions chirurgicales à réaliser pendant un horizon donné. La littérature abondante sur le sujet est unanime sur le fait que la construction du programme opératoire est une tâche complexe, car il s'agit non seulement de planifier et d'ordonnancer les interventions, mais aussi de satisfaire des exigences souvent antagonistes. Ce projet est le fruit d'une collaboration entre la Communauté d'Agglomération de Sarreguemines Confluences et la Région Lorraine, des membres du secteur hospitalier (Hôpital Robert Pax de Sarreguemines) et l'équipe Gestion Industrielle et Logistique (GIL) du Laboratoire de Génie Industriel, de Production et de Maintenance (LGIPM). L'objectif de cette recherche est d'apporter une aide aux gestionnaires du bloc opératoire, qui ont besoin de plus en plus des méthodes et des outils d'aide à la décision en vue d'optimiser leur fonctionnement.

Pour répondre à ce besoin nous nous intéressons dans la première partie de cette thèse à la gestion des opérations électorives en prenant en compte différentes contraintes et en particulier la disponibilité des chirurgiens. Nous nous plaçons dans le contexte d'une stratégie « *open scheduling* » et nous proposons deux modèles mathématiques permettant d'élaborer le programme opératoire. La complexité des modèles mathématiques et leur explosion combinatoire rendent difficile la recherche de l'optimum pour des tailles réalistes. Ceci nous a donc amené à proposer une heuristique constructive utilisant le modèle proposé et permettant d'obtenir des solutions là où la méthode exacte ne nous le permettait pas.

Dans la seconde partie de cette thèse, nous considérons l'intégralité du processus opératoire (brancardage vers le bloc opératoire, préparation et anesthésie, acte chirurgical et réveil). Nous modélisons ce processus comme un flow shop hybride à 4 étages avec contrainte de blocage de type *RSb*, et nous le résolvons à l'aide d'un algorithme génétique dont l'objectif est de synchroniser toutes les ressources nécessaires, en respectant au mieux le programme opératoire prévisionnel.

Outre les opérations électorives, nous nous intéressons dans la dernière partie aux opérations urgentes. Nous proposons un outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes. En prenant en considération la pathologie et la gravité de l'état du patient, nous distinguons principalement 3 degrés d'urgences et proposons pour chacune un algorithme permettant d'intégrer en temps réel ces opérations dans le programme prévisionnel, tout en minimisant différents critères (temps d'attente avant affectation, heures supplémentaires, décalage par rapport aux anciennes dates de débuts).

Mots clés : *Gestion de blocs opératoires, programmation opératoire, PLNE, flow shop hybride, algorithme génétique, gestion des urgences, outil d'aide à la décision.*

Abstract

The operating theater is one of the most critical and expensive hospital resources. Indeed, a high percentage of hospital admissions are due to surgical interventions. Rising expenditures spur health care organizations to organize their processes more efficiently and effectively.

This thesis is supported by the urban community of Sarreguemines-France and the region of Lorraine-France, and is carried out in collaboration with the Centre Hospitalier de Sarreguemines - Hôpital Robert Pax.

In the first part of this work, we propose two mathematical programming models to help operating theater managers in developing an optimal operating rooms scheduling. We also propose a constructive heuristic to obtain near optimal results for realistic sizes of the problem.

In the second part of our work, the whole scheduling process is modeled as a hybrid four-stage flow shop problem with *RSb* blocking constraint, and is solved by a genetic algorithm. The objective is to synchronize all the needed resources around the optimal daily schedule obtained with the proposed mathematical model.

The last part of our work is dedicated to non-elective surgeries. We propose a decision support tool, guiding the operating room manager, to handle this unpredictable flow of patients. Non-elective patients are classified according to their medical priority. The main contribution of the proposed decision support tool is to provide online assignment strategies to treat each non elective patient category. Proposed assignments are riskless on patient's health. According to non-elective surgery classes, the proposed adjusted schedule minimizes different criteria such as patient's waiting time, deviation from the firstly scheduled starting time of a surgery and the amount of resulting overtime.

Keywords: Operating theatre management, operating rooms scheduling, hybrid flow shop, genetic algorithm, non-elective surgeries management, decision support tool.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 Contexte de la recherche et problématiques	4
1.1 Introduction	5
1.2 Contexte de la recherche	5
1.2.1 Systèmes hospitaliers Français	5
1.2.2 Gestion des blocs opératoires.....	13
1.3 Revue de la littérature concernant la programmation opératoire des opérations électives.....	22
1.4 Synthèse de la revue de la littérature et objectifs de notre recherche	28
1.5 Conclusion.....	31
Chapitre 2 Gestion des opérations électives	32
2.1 Introduction	33
2.2 Ordonnancement des opérations électives	33
2.2.1 Description du problème.....	33
2.2.2 Modèle mathématique.....	34
2.2.3 Heuristique.....	37
2.2.4 Expérimentation.....	37
2.3 Modèle en temps continu pour l'ordonnancement des opérations électives	44
2.4 Cas de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines	48
2.4.1 Fonctionnement du bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines	48
2.4.2 Génération des données basées sur les données réelles du bloc opératoire Robert Pax à Sarreguemines	50
2.4.3 Comparaison du modèle discrétisé et du modèle continu pour l'ordonnancement des opérations électives.....	51
2.4.4 Programmation opératoire hebdomadaire.....	54
2.5 Conclusions	56
Chapitre 3 Flow shop hybride pour l'ordonnancement du processus opératoire	58

3.1	Introduction	59
3.2	Analyse du processus opératoire	59
3.2.1	Phase pré-opératoire.....	60
3.2.2	Phase per-opératoire.....	60
3.2.3	Phase post-opératoire	62
3.1	Analogie entre processus opératoire et flow shop hybride avec blocage de type <i>RSb</i> 62	
3.2	Notre approche	65
3.2.1	Algorithme génétique.....	67
3.2.2	Adaptation de l'algorithme génétique pour le processus opératoire.....	68
3.2.3	Exemple illustratif.....	69
3.3	Expérimentations.....	70
3.3.1	Génération des données	70
3.3.2	Résultats.....	73
3.4	Conclusions	79
Chapitre 4 Outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes...		82
4.1	Introduction	83
4.2	Revue de la littérature concernant la gestion des opérations urgentes	84
4.2.1	Stratégies d'intégration des opérations urgentes dans un programme opératoire prévisionnel.....	84
4.2.2	Classifications des opérations urgentes	87
4.3	Notre approche	89
4.3.1	Outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes	90
4.3.2	Procédures d'affectation proposées pour l'affectation des opérations urgentes	91
4.4	Expérimentation	99
4.4.1	Résultats pour les urgences vitales	103
4.4.2	Résultats pour les urgences de Classe 2.....	105
4.4.3	Résultats pour les urgences de Classe 3.....	111

4.5	Conclusions	112
	Conclusion générale et perspectives	114
	Bibliographie.....	120

Liste des tableaux

<i>Tableau 1.1 Différentes configurations architecturales des plateaux médicotechniques et leurs modes de prise en charge.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 2.1 Tailles des problèmes testés.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 2.2 Résultats numériques des deux approches de résolution proposées</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 2.3 Résultats de l'approche heuristique sur les ensembles 3 et 4.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 2.4 Pourcentages et raisons pour lesquelles des opérations sont non planifiées</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 2.5 Récapitulation des données recueillies au bloc opératoire Robert Pax</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 2.6 Comparaison des nombres de contraintes et variables des deux modèles pour différentes tailles de problèmes</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 3.1 Durées de traitement dans les différents étages</i>	<i>69</i>
<i>Tableau 3.2 Résultats pour un bloc opératoire avec 4 salles</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 3.3 Résultats pour un bloc opératoire avec 5 salles</i>	<i>77</i>
<i>Tableau 3.4 Résultats pour un bloc opératoire avec 6 salles</i>	<i>78</i>
<i>Tableau 4.1 Différentes catégorisations des opérations non électives (Van Riet et Demeulemeester, 2015).....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau 4.2 Nombres d'urgences générées pour chaque classe</i>	<i>100</i>
<i>Tableau 4.3 Variation des taux d'occupations après l'intégration des opérations urgentes et pourcentage des opérations affectées par classe d'urgence.....</i>	<i>101</i>
<i>Tableau 4.4 Résultats pour les urgences vitales (Classe 1).....</i>	<i>103</i>
<i>Tableau 4.5 Résultats pour les urgences de classe 2 (les quatre premières stratégies).....</i>	<i>106</i>
<i>Tableau 4.6 Résultats pour les urgences de classe 2 (stratégie 5)</i>	<i>110</i>
<i>Tableau 4.7 Résultats pour les opérations de classe 3</i>	<i>111</i>

Liste des figures

<i>Figure 1.1 Principaux flux d'un établissement de santé (Dallery, 2004)</i>	11
<i>Figure 1.2 Vision structurelle d'un système hospitalier (Fei, 2006)</i>	12
<i>Figure 1.3 Interrelation entre le bloc opératoire et les autres services (Fei, 2006)</i>	14
<i>Figure 1.4 Transposition des trois niveaux de planification MRP II au bloc opératoire (Rossi-Turck, 2002)</i>	18
<i>Figure 1.5 Exemple d'un PDA des lundis et mardis pour trois salles opératoires (Fei, 2006)</i>	19
<i>Figure 1.6 Processus de négociation pour l'élaboration du programme opératoire (Kharraja, 2003)</i>	21
<i>Figure 2.1 Illustration de l'utilité du deuxième terme de la fonction objectif</i>	36
<i>Figure 2.2 Heuristique proposée pour l'ordonnancement des opérations électives</i>	38
<i>Figure 2.3 Taux d'occupation journalier des programmes opératoires hebdomadaires pour les sous problèmes de l'ensemble 4</i>	41
<i>Figure 2.4 Explication de la quatrième raison de non affectation d'une opération dans un programme opératoire</i>	42
<i>Figure 2.5 Pourcentages et raisons de la non programmation d'opérations</i>	43
<i>Figure 2.6 Plan directeur d'allocation du bloc opératoire Robert Pax</i>	49
<i>Figure 2.7 Comparaison des temps d'exécution pour les deux modèles, discrétisé et en temps continu</i>	53
<i>Figure 2.8 Comparaison des taux d'occupation obtenus avec les exigences de la HAS</i>	55
<i>Figure 2.9 Taux d'occupation moyen par salle et par jour</i>	55
<i>Figure 2.10 Pourcentages et raisons de la non programmation d'opérations</i>	56
<i>Figure 3.1 Les différents flux entrants et sortants du bloc opératoire</i>	60
<i>Figure 3.2 Phase pré-opératoire du processus opératoire</i>	61
<i>Figure 3.3 Phase per-opératoire du processus opératoire</i>	62
<i>Figure 3.4 Ressources considérées pour le modèle d'ordonnancement (Flow shop hybride à quatre étages)</i>	65
<i>Figure 3.5 Illustration de la contrainte RSb</i>	66
<i>Figure 3.6 Présentation de l'algorithme génétique</i>	67

<i>Figure 3.7 Programme opératoire initial</i>	<i>69</i>
<i>Figure 3.8 Résultats obtenus pour l'exemple illustratif.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure 4.1 Procédure d'affectation pour les opérations urgentes de Classe 1</i>	<i>93</i>
<i>Figure 4.2 Procédure d'affectation pour les opérations urgentes de Classe 2</i>	<i>94</i>
<i>Figure 4.3 Stratégie 1 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2</i>	<i>95</i>
<i>Figure 4.4 Stratégie 2 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2</i>	<i>96</i>
<i>Figure 4.5 Stratégie 3 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2</i>	<i>97</i>
<i>Figure 4.6 Stratégie 4 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2</i>	<i>97</i>
<i>Figure 4.7 Stratégie 5 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2</i>	<i>98</i>
<i>Figure 4.8 Procédure d'affectation pour les opérations urgentes de Classe 3</i>	<i>99</i>
<i>Figure 4.9 Variation du taux d'occupation après intégration des opérations urgentes</i>	<i>102</i>
<i>Figure 4.10 Variation du temps d'attente moyen des opérations vitales avant affectation ..</i>	<i>104</i>
<i>Figure 4.11 Pourcentage des solutions proposées par les stratégies.....</i>	<i>107</i>
<i>Figure 4.12 Variation du nombre moyen d'heures supplémentaires pour les stratégies 1, 2 et 4.....</i>	<i>108</i>
<i>Figure 4.13 Fréquence de sélection de chaque stratégie (en pourcentage).....</i>	<i>110</i>

Introduction générale

Depuis les années quatre-vingts, de nombreuses entreprises manufacturières ont fait face à une complexité croissante de l'environnement dans lequel elles évoluent. Les pressions de la concurrence et la nécessité d'éliminer les inefficacités internes les ont obligées à se lancer dans de multiples transformations organisationnelles. Ces changements ont permis aux entreprises d'améliorer leur performance productive grâce à une meilleure réactivité (Bresnahan et *al.*, 2002).

Cette complexité croissante n'a pas épargné les organisations hospitalières. L'hôpital n'a cessé d'évoluer au fil des années. Confronté aux contraintes du contexte socio-économique, la majorité des établissements hospitaliers ont dû plier devant les contraintes législatives et budgétaires. Selon l'Organisation de Coopération et de Développement Economique¹ (OCDE, 2004), « *les trente dernières années ont été une période de mutations et d'expansion pour les systèmes de santé.* ».

Le principal problème qui découle de ces mutations est la maîtrise des dépenses de santé, qui ont souvent tendance à augmenter. De ce fait, le contexte hospitalier actuel incite les praticiens à réunir la perfection médicale et la perfection managériale, afin de respecter les budgets limités alloués au secteur de la santé, et également d'assurer une utilisation optimale des ressources et des soins de meilleure qualité.

Par conséquent, les hôpitaux se trouvent aujourd'hui soumis à la triple contrainte : coût, délai et qualité. Les dirigeants des systèmes hospitaliers doivent intégrer toutes ces contraintes et revoir leurs processus et leurs organisations. L'optimisation nécessite des compétences en génie industriel qui ne relèvent pas forcément du domaine hospitalier. De là est née cette thèse, qui est le fruit de la collaboration entre des membres du secteur hospitalier (Hôpital Robert Pax de Sarreguemines) et de l'équipe Gestion industrielle et Logistique (GIL) du Laboratoire de Génie Industriel, de Production et de Maintenance (LGIPM), afin d'améliorer le fonctionnement au sein de leur bloc opératoire. Cette thèse est financée par la communauté d'agglomération de Sarreguemines Confluences et la région Lorraine.

Dans cette thèse, nous portons notre intérêt sur une composante de l'hôpital, généralement désignée comme la plus coûteuse et la plus emblématique : le bloc opératoire (Rossi-Turck, 2002) (Jebali *et al.*, 2006). Le fonctionnement de ce secteur est orchestré par un programme opératoire. La programmation opératoire consiste à dresser, sur un horizon défini, la liste des patients et leur ordre de passage et à s'assurer que l'ensemble des ressources humaines et matérielles nécessaires soient disponibles au moment et à l'endroit voulus. Les programmes opératoires établis doivent garantir une utilisation des ressources, respectant la capacité disponible et minimisant les coûts, tout en assurant la santé et la satisfaction des patients, par le respect des heures d'opérations annoncées, la minimisation des temps d'attente des patients,

¹ OCDE : l'Organisation de Coopération et de Développement Economique est une organisation internationale d'études économiques, dont les pays membres, des pays développés, ont en commun un système de gouvernement démocratique et une économie de marché. Elle joue essentiellement un rôle d'assemblée consultative.

etc. Le programme opératoire a donc un impact direct sur la qualité des soins octroyés aux patients et sur la perception que ceux-ci ont de l'institution.

Dans le cadre de ce projet, et en s'interrogeant sur l'optimisation du fonctionnement du bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines, plusieurs problématiques ont émergé. Notre contribution porte principalement sur deux aspects : une meilleure utilisation des ressources de l'activité chirurgicale et une meilleure maîtrise des flux des patients électifs et non électifs (les urgences). Plus précisément, nous nous intéressons à la problématique de planification et d'ordonnancement des opérations électives et non électives, avec la prise en compte des ressources intervenantes.

Le présent mémoire est composé de quatre chapitres, organisés selon le plan suivant :

Le chapitre 1 décrit succinctement le contexte hospitalier, ses caractéristiques et les défis auxquels il est confronté. Nous présentons également l'organisation des systèmes hospitaliers, qui nous a permis de déduire le poids et l'importance du bloc opératoire au sein d'un établissement hospitalier. Nous donnons ensuite une description du fonctionnement du bloc opératoire et détaillons les différentes stratégies existantes pour l'élaboration du programme opératoire. Nous dressons à la fin de ce chapitre un panorama de la littérature sur la programmation opératoire. La revue de littérature établie nous a permis de cerner nos axes de contributions qui s'articulent autour de trois problématiques.

La première problématique, présentée dans le deuxième chapitre, concerne la programmation opératoire des opérations électives. Notre objectif est de garantir une utilisation efficiente des ressources disponibles. Dans cette perspective, nous avons proposé deux modèles mathématiques et une heuristique pour définir un programme opératoire. A travers les différentes simulations établies, nous avons comparé la performance des modèles proposés ainsi que leurs limites. Ces comparaisons nous ont permis de décider quel outil est le plus adéquat pour l'élaboration du programme opératoire hebdomadaire du bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines.

Les programmes opératoires établis prennent en compte la disponibilité des deux ressources les plus importantes dans le processus opératoire : les chirurgiens et les salles opératoires. Par ailleurs, le processus opératoire est une succession d'étapes nécessitant chacune différentes ressources matérielles et humaines. Une collaboration entre les différentes ressources intervenantes est primordiale. La deuxième problématique abordée dans ce projet, qui fait l'objet du troisième chapitre, a pour objectif d'orchestrer les différentes ressources intervenant dans le parcours chirurgical autour du programme opératoire prévisionnel. Il est question de fournir au gestionnaire du bloc opératoire un outil lui permettant de synchroniser les différentes ressources requises lors du parcours chirurgical du patient, en se basant sur le programme opératoire prévisionnel établi. Nous faisons appel à un outil développé pour le milieu industriel et nous l'avons adapté pour le milieu hospitalier.

Dans les deux premiers chapitres, nous n'avons considéré que les patients électifs. Par ailleurs, il est important de prendre en considération le flux de patients imprédictible qui perturbe le

déroulement du programme opératoire prévisionnel, à savoir les urgences. L'intégration des opérations urgentes dans le programme opératoire prévisionnel est la troisième problématique que nous traitons et qui est abordée dans le quatrième chapitre. Nous proposons un outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes. Cet outil prend en considération la pathologie et la gravité de l'état du patient. Nous distinguons principalement trois degrés d'urgence et donnons pour chacun un algorithme permettant d'intégrer ces opérations dans le programme opératoire prévisionnel, tout en minimisant différents critères (temps d'attente avant affectation, heures supplémentaires, décalage par rapport aux anciennes dates de débuts).

Chapitre 1 Contexte de la recherche et problématiques

1.1 Introduction

Nous disons toujours que « la santé n'a pas de prix », mais nous oublions que l'hôpital a un coût ! En effet, selon les résultats des comptes de la santé établis par la Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques (DRESS, 2016), les dépenses de soins et de biens médicaux sont évaluées à 194,6 milliards d'euros, soit plus de 2900 euros par habitant. Ces dépenses représentent 8,9% du PIB. Les déterminants des dépenses en santé sont nombreux. Essentiellement, trois facteurs expliquent la croissance des dépenses de santé à moyen et long terme : le vieillissement de la population, la rareté des ressources, et l'exigence d'assurer une meilleure qualité de soins. Les hôpitaux sont donc de plus en plus incités à rationaliser leur fonctionnement et leurs coûts.

Le contexte dans lequel évoluent les systèmes hospitaliers les incite à adopter une politique rigoureuse de maîtrise des dépenses de santé. Les établissements de santé sont amenés à respecter les moyens qui leurs sont alloués et doivent assurer une utilisation optimale de leurs ressources. Un grand nombre d'établissements de santé sont alors amenés à s'investir dans des projets de modernisation de leurs organisations et de leurs infrastructures.

Dans ce chapitre, nous présentons l'organisation du système de santé français ainsi que les défis auxquels il fait face. Notre attention se focalisera ensuite sur le secteur le plus coûteux de l'hôpital : le bloc opératoire. Nous décrivons, dans une première partie, le fonctionnement du bloc opératoire, et présentons ensuite les différentes stratégies possibles pour l'élaboration des programmes opératoires. Dans la troisième partie de ce chapitre, nous présentons un panorama non exhaustif des études scientifiques traitant la problématique de planification et d'ordonnancement des opérations électives au sein des blocs opératoires. La revue de la littérature établie, nous permet de faire la synthèse et de définir la problématique et nos axes de contributions dans la dernière partie de ce chapitre.

1.2 Contexte de la recherche

Nous essayons, à travers cette partie, d'éclairer le lecteur sur la problématique de la gestion hospitalière. Nous présentons les caractéristiques du système hospitalier français et les défis auxquels il fait face. Après avoir situé le bloc opératoire dans son environnement, nous donnons une description de son fonctionnement ainsi que les stratégies d'élaboration du programme opératoire.

1.2.1 Systèmes hospitaliers Français

Un système hospitalier est un ensemble d'institutions, de méthodes et de services ayant tous un même objectif : satisfaire les attentes des citoyens en essayant d'améliorer la qualité des

soins. La définition proposée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)² décrit la fonction de l'hôpital comme suit : « *L'hôpital est l'élément d'une organisation de caractère médical et social dont la fonction consiste à assurer à la population des soins médicaux complets, curatifs et préventifs, et dont les services extérieurs irradient jusqu'à la cellule familiale considérée dans son milieu, c'est aussi un centre d'enseignement de la médecine et de recherche bio-sociale* ». Certes, l'amélioration de la santé de la population n'a pas de prix mais, la mission d'un hôpital a un coût. Les dépenses des établissements de santé ne cessent d'augmenter, ce qui les incite à adopter une politique objective et rigoureuse pour maîtriser leurs dépenses.

1.2.1.1 Caractéristiques du système de santé Français

L'OMS définit un système de santé comme « *Toutes les activités, qui portent sur les services de santé, mises à la disposition d'une population, et sur l'utilisation de ces services par la population* ».

Le système de santé comprend tous les éléments permettant d'identifier et de satisfaire les besoins de la population. Il est constitué par trois grands groupes :

- *Les producteurs de soins* : Comprennent les structures (établissements de santé publics et privés), les réseaux de soins, les praticiens libéraux, les structures de prévention (protection maternelle et infantile, médecine scolaire, service de santé au travail). Ils disposent de moyens matériels (équipements) et humains (personnel médical, paramédical, administratif). Les industries pharmaceutiques et les laboratoires d'analyses font aussi partie de cet ensemble.
- *Les administrateurs* : Nombreux sont les administrateurs du système de santé. En haut de l'échelle, le ministère de la santé définit les politiques de santé publique. A l'échelon déconcentré, on trouve les administrations telles que la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales (DRASS), l'Agence Régionale d'Hospitalisation (ARH), la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS). Au niveau décentralisé, existent les services sanitaires et sociaux des départements et des communes. Finalement, le financement des systèmes de santé est assuré par les organismes de protection sociale tels que la sécurité sociale, les mutuelles, l'aide sociale, les assurances privées et les institutions de prévoyance.
- *La population* : non seulement utilisatrice, mais également source de financement via les cotisations sociales et les impôts.

Dans ce travail, nous nous intéressons particulièrement à l'un des composants du système de santé, l'hôpital. La mission d'un hôpital s'articule essentiellement autour de trois axes (Molinié, 2005) :

² L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est une institution spécialisée de l'Organisation des Nations Unies (ONU) pour la santé publique. Elle a pour objectif d'amener tous les peuples du monde au niveau de santé le plus élevé possible.

- Garantir l'accès de tous à des soins de qualité, non seulement du point de vue technique, mais également sur le plan humain.
- Assurer une équité d'accès aux soins et la non-discrimination dans tous ses aspects.
- Promouvoir l'efficience (rapport coût/efficacité).

La réalisation de cette mission n'est guère simple, du fait que le milieu hospitalier est d'une part complexe car sa gestion soulève un certain nombre de difficultés, et d'autre part sensible (Pham, 2002). Pour faire face à cette complexité de fonctionnement, nombreux sont les spécialistes qui se sont intéressés aux systèmes hospitaliers. Dans leur livre, Moisdon et Tonneau (1999) ont classé les unités de l'hôpital en cinq secteurs : les services cliniques (les lieux d'hébergement des patients), les services de consultations (unités de consultation polyvalentes), le plateau technique (le plateau de biologie, d'imagerie médicale et de chirurgie), le secteur logistique (les activités de restauration, de blanchisserie, de transport des malades, de stockage, de préparation et de distribution des produits médicaux) et le secteur administratif (la direction générale, le service financier, le service de gestion des ressources humaines, le service informatique). Plus tard, Kharraja (2003) a groupé ces entités en deux grandes catégories : les secteurs concernés par la trajectoire du patient (regroupant les trois premiers) et les secteurs d'appoint et de support (les deux derniers).

Au-dessus de l'enchevêtrement entre les différents services de l'hôpital, dans les travaux de (Hammami, 2006), l'auteur énonce les critères qui distinguent les systèmes hospitaliers des organisations « classiques ». Les systèmes hospitaliers sont caractérisés par :

- Une hétérogénéité : L'hôpital se caractérise par un éventail d'activités, car il y a une variété et une multitude de compétences. Les établissements de santé font face à une double filière hiérarchique. En effet, la gestion de l'établissement assurée par les équipes de direction, dépend de médecins que ces équipes n'ont pas recrutés et dont ils ne gèrent pas la carrière (Teil, 2002). De même, les médecins mènent l'activité de leur service avec du personnel soignant et paramédical qu'ils n'ont généralement pas recruté (Holcman, 2006).
- Un professionnalisme : L'hôpital repose sur des ressources humaines indépendantes et autonomes, dotées d'un haut niveau de compétences qui constitue l'essence de leur pouvoir et autorité.
- Une présence forte du facteur humain : Contrairement aux gammes de fabrication connues à l'avance dans le milieu industriel, l'activité de soin est spécifique à chaque malade. Le patient est à la fois le produit, le consommateur, et le producteur du soin puisqu'il participe à la définition de sa propre trajectoire (Marcon, 2004).
- Une structure complexe : Au sein d'un hôpital, plusieurs pouvoirs et centres de décision sont en perpétuelle confrontation. Les pouvoirs qu'on peut citer sont : le pouvoir politique avec le conseil d'administration, le pouvoir administratif avec la direction de l'hôpital, le pouvoir médical avec le comité médical de l'établissement et le pouvoir

paramédical. L'hôpital se caractérise classiquement par une absence de ligne hiérarchique unique et claire entre le sommet stratégique et les centres opérationnels. Elles sont même qualifiées d'« anarchies organisées » dans (Stefanini, 1997). Les auteurs dans (Coulibaly et *al.*, 2001), confirment que dans un tel contexte, l'amélioration de la qualité des services est une tâche complexe et difficile.

1.2.1.2 Défis des systèmes hospitaliers Français

Dans tous les pays de l'OCDE, la santé est un poste de dépenses qui progresse plus rapidement que l'activité économique, augmentant sa part dans le PIB. En 2011, la France a consacré 235,6 Milliards d'euros, soit 11,6% du PIB³ du pays aux dépenses de santé. En 2014, la somme des dépenses engagées pour la fonction santé s'élève à 256,9 Milliards d'euros, soit l'équivalent de 12% du PIB. Les dépenses de santé de la France se situent très au-dessus de la moyenne des pays de l'OCDE (9,3%). La part des dépenses des soins de santé dans les fonds publics n'a fait que croître de façon plus rapide que le PIB, avec une croissance annuelle proche de 3% contre un PIB croissant en moyenne de 0,3% (DRESS)⁴. Dans une perspective de croissance incessante du rythme des dépenses, le secteur de la santé ne sera pas capable de persister à long terme. Un travail parallèle d'amélioration de la performance du système s'avère indispensable afin d'adapter la manière de travailler pour mieux répondre aux pressions du marché (Lee, 2006).

Les raisons de l'augmentation des dépenses en santé sont potentiellement nombreuses. Cependant, trois facteurs expliqueraient la croissance de la dépense de santé, à moyen et long terme notamment (Albouy et *al.*, 2009) :

- *Le vieillissement de la population* : L'espérance de vie a plus que triplé depuis le 18^{ème} siècle. L'institut national de la statistique et des études économiques prévoit une progression de l'espérance de vie de 8,0 années pour les hommes et 6,3 années pour les femmes entre 2010 et 2060. De plus, la consommation des soins est fortement croissante avec l'âge. En effet, la consommation de soins moyenne d'une personne de 70 ans est 4 fois supérieure à celle d'une personne de 20 ans.
- *La pénurie de personnels médicaux et soignants* : Cette pénurie est une conséquence évidente du « *Numerus Clausus* ». A partir de 1978, le nombre de médecins en formation a été réduit. Dans les années 1960, la France formait environ 8000 médecins par an. Entre 1983 et 2000, le nombre d'étudiants en médecine était autoritairement diminué jusqu'à environ 3500 étudiants par an pendant plusieurs années (Wallach, 2011). Parmi les répercussions de cette restriction, on trouve la limitation de l'offre de

³ PIB : Produit Intérieur Brut.

⁴ DREES : Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques : Une direction de l'administration centrale des ministères sanitaires et sociaux. Elle fait partie du service statistique public. Sa mission est de fournir aux décideurs publics, aux citoyens, et aux responsables économiques et sociaux des informations fiables et des analyses sur les populations et les politiques sanitaires et sociales.

soins en médecins généralistes comme en médecins spécialistes. De plus, s'ajoute également une pénurie d'infirmières et d'autres personnels paramédicaux.

- *L'évolution des exigences des usagers* : La notion de qualité dans les services de santé est complexe. Elle pourrait être évaluée selon plusieurs critères (Annemans *et al.*, 2008) : l'accessibilité aux soins et leur efficacité du point de vue technique et relationnel, la satisfaction des patients, la prise en charge globale (médico-psycho-sociale) des patients, etc. Parmi les moyens qui permettraient d'augmenter le confort du patient et assurer une qualité relationnelle avec le personnel, il semblerait judicieux de préconiser un nombre élevé d'infirmières et de personnels soignants (AGIM, 2009). Or, comme déjà mentionné, le secteur souffre d'une pénurie d'infirmières et d'autres personnels paramédicaux. Confrontés à des temps de prise en charge qui ne répondent pas à leurs attentes et à leurs exigences, les patients *s'énervent*, ce qui entraîne des tensions.

Le secteur de la santé se trouve donc face à une évolution de la demande de soins qui dépend, d'une part du facteur de vieillissement de la population, et d'autre part de la pénurie de personnels médicaux et soignants. S'ajoute à cela une croissance de la demande et des exigences du patient sur la qualité des soins. Face à cette augmentation incessante des dépenses de santé, le budget de fonctionnement octroyé par l'Etat est de plus en plus réduit. Par conséquent, l'hôpital se trouve aujourd'hui soumis à la triple contrainte : coût, délai et qualité. Il est alors amené à trouver le meilleur compromis entre, d'une part le respect des moyens qui lui sont attribués, d'autre part l'utilisation optimale de ses ressources, et enfin la garantie d'un service de qualité aux patients. Les hôpitaux sont donc de plus en plus incités à rationaliser leur fonctionnement et leurs coûts. Dans ce cadre, l'état français s'est engagé dans de grandes réformes du système de santé.

Revenons tout d'abord sur le terme « réformes ». Les réformes peuvent être considérées comme des « entrepreneurs de morale » (Belorgey, 2010). Ces derniers essayent d'imposer certaines normes juridiques ou morales afin d'influencer les comportements. Dans le domaine hospitalier, les réformes managériales s'incarnent via des textes juridiques contraignants (ordonnances de 1996), des outils de gestion qui influencent les manières de soigner (la tarification à l'activité T2A), ou enfin par des mécanismes moins formels mais tout aussi importants. Les réformes managériales sont destinées à réduire les gaspillages et à maximiser les rentabilités des ressources disponibles.

Le plan Hôpital 2007, ainsi que la continuité de son volet d'investissement le Plan Hôpital 2012, sont la preuve de l'engagement de l'état français à instruire des réformes. Ces réformes portent sur des restructurations profondes : une modification radicale du mode de gouvernance et du pilotage des activités opérationnelles. La finalité est alors de fournir aux professionnels plus de facilités pour la réalisation de leur projet. Elles visent également à réformer les modes de financement des établissements publics et privés et à leur offrir de nouvelles possibilités de développement.

La loi HPST (« Hôpital, Patient, Santé et Territoire », loi N°2009-879 du 21 juillet 2009) réforme de l'hôpital, est relative aux patients, à la santé et aux territoires. Elle a modifié certains aspects de cette organisation. En effet, les établissements de santé sont amenés à s'inscrire dans une démarche d'évaluation de qualité, dans la perspective d'obtenir des certifications (V2012 et V2014) auprès de la Haute Autorité de Santé⁵ (HAS). Cette dernière a pour mission d'évaluer et d'améliorer la qualité des soins dans les établissements de santé. Les certifications sont obligatoires et conditionnent également l'activité des établissements de soins. Elles concernent la qualité de prise en charge des patients et les conditions de sécurité. La HAS évalue d'un point de vue médical et économique les actes, prestations et technologies de santé. Elle élabore des recommandations sur les stratégies de prise en charge.

Pour récapituler, les établissements hospitaliers sont amenés à réunir les conditions de sécurité et de qualité des soins. Ainsi, ils sont dans l'obligation de rendre un service de qualité au meilleur coût. Pour atteindre cet objectif, il nous semble indispensable de comprendre, en premier lieu, la composition du secteur hospitalier français selon les différents statuts juridiques existants, l'organisation interne de l'hôpital et son fonctionnement.

1.2.1.3 Organisation des systèmes hospitaliers

Le secteur hospitalier français est caractérisé par la coexistence d'établissements de soins de trois statuts juridiques différents (DREES, 1999) : Etablissements publics, établissements privés à but non lucratif et établissements privés à but lucratif. Ces statuts combinent des modes très différents d'organisation et de gestion, de financement et de régulation, de participation aux missions de service public. En décembre 2014, on comptait en France 931 établissements publics de santé et 1729 dans le secteur privé. Cette dualité public/privé constitue une des particularités du système hospitalier français. La France possède le système hospitalier privé le plus important en Europe, tant en termes de nombre d'établissements que de lits (DRESS, 2014).

Avec la loi HPST (« Hôpital, Patient, Santé et Territoire »), l'objectif du secteur est de garantir un bien-être physique et psychique des patients et des employés, en respectant le cadre budgétaire accordé par les payeurs. Dans ce cadre, les acteurs du secteur de la santé sont amenés à rendre des services de meilleure qualité avec le moins de moyens possibles. Ainsi, s'applique en pratique le concept de « l'hôpital entreprise ». Dans cette « entreprise », les acteurs du domaine de la santé se doivent de fournir un service à un client plutôt que d'imposer un traitement à un patient (Colin et *al.*, 2004). De ce fait, nous observons, de nos jours, une présence plus marquée du concept de soins centrés sur le patient qui se retrouve au centre du système hospitalier.

Le séjour d'un patient dans un hôpital engendre de multiples flux : physiques (de produits et de personnes), informationnels (informations médicales et organisationnelles) et financiers.

⁵ Haute Autorité de Santé (HAS) : Autorité publique indépendante à caractère scientifique. Elle a été créée par la loi française du 13 août 2004 relative à l'assurance maladie.

Les détails de ces flux sont résumés dans la Figure 1.1 (Dallery, 2004). La particularité de ces flux réside dans leur aspect aléatoire, étant donné que le traitement d'un patient ne peut pas être pré-établi d'une façon déterministe.

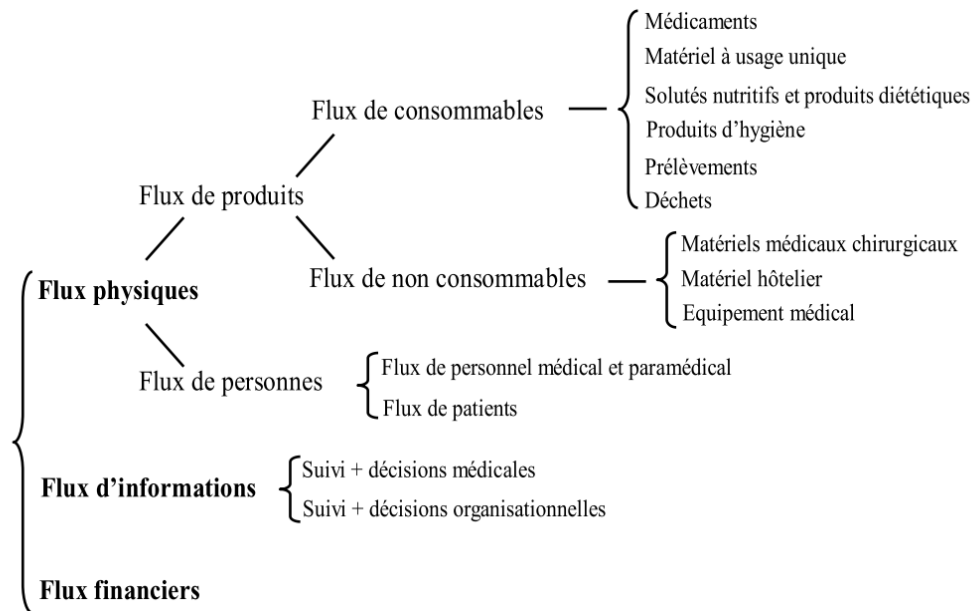


Figure 1.1 Principaux flux d'un établissement de santé (Dallery, 2004)

Dans (Fei, 2006), l'auteur a présenté une structure traditionnelle d'organisation pour les établissements hospitaliers (Figure 1.2) Un hôpital se présente sous la forme d'une organisation hiérarchique, gouvernée par un système central de gestion et d'approvisionnement, qui tient son pouvoir du ministère de la Santé. Ce système alloue les budgets aux établissements hospitaliers, fixe les tarifs des cliniques privées, définit le schéma régional d'organisation sanitaire et sociale, met en œuvre les contrats d'objectifs et de moyens avec les établissements de soins et donne les autorisations administratives pour permettre aux établissements publics et privés d'assurer leur fonctionnement.

La direction du conseil d'administration définit les orientations stratégiques, l'évaluation et le contrôle de leur mise en œuvre. Le directeur général est chargé des unités administratives et des unités de soins qui intègrent les services de soins et de consultations et les services médico techniques. Ces unités peuvent à leur tour être décomposées selon leur spécialité.

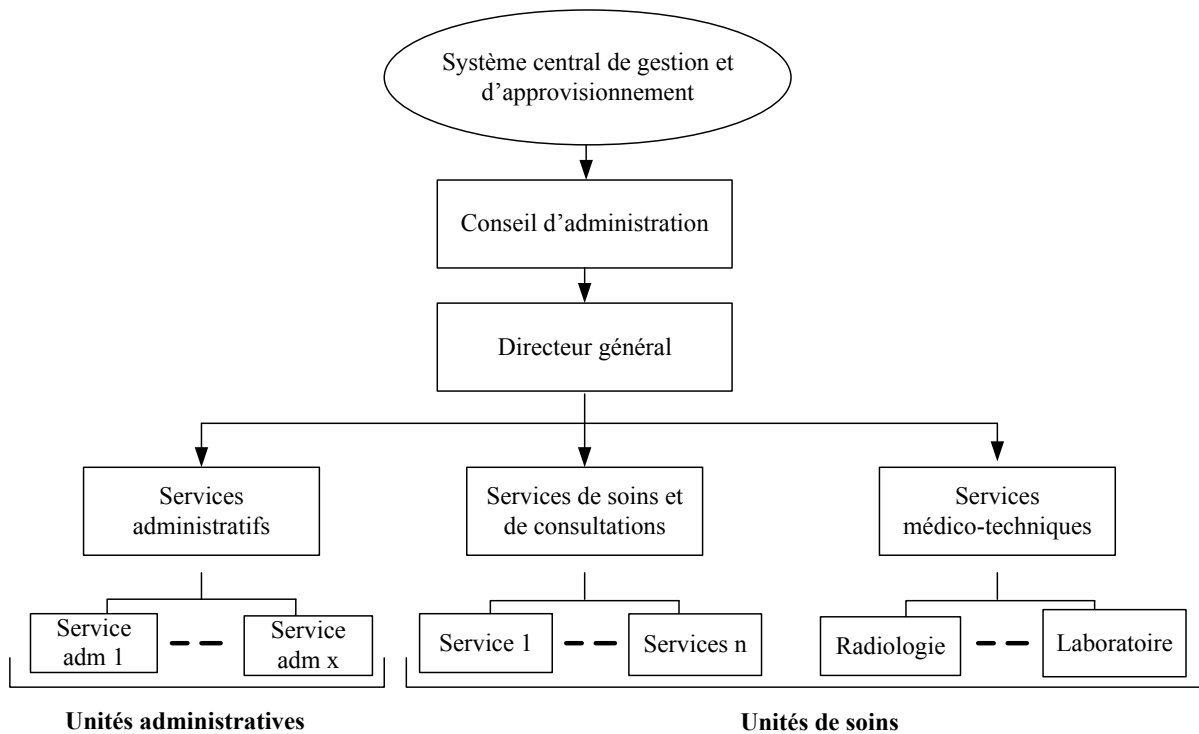


Figure 1.2 Vision structurelle d'un système hospitalier (Fei, 2006)

La décomposition d'un hôpital en unités a été détaillée dans (Moisdon et Tonneau, 1999). L'ensemble des unités d'un établissement hospitalier peuvent être classifiées en cinq secteurs :

- *Les services cliniques* : Ce sont les lieux d'hébergement des patients. L'équipement général de ces services regroupe essentiellement les lits ainsi que les matériels à disposition dans les chambres d'hôpital.
- *Les consultations* : Elles sont incluses dans les services cliniques. Comme pour ces derniers, il s'agit d'unités peu technologiques.
- *Le plateau technique* : Il regroupe les unités où s'effectuent un certain nombre d'actes nécessitant des technologies de pointe. Ces unités travaillent pour les services cliniques et les consultations. Le plateau technique est constitué d'un plateau d'imagerie médicale, un plateau de biologie médicale et un plateau médicotechnique (le bloc opératoire).
- *Le secteur logistique* : Il effectue différentes tâches à destination des unités précédemment décrites : la restauration, la blanchisserie, l'hébergement, le transport des malades, la gestion des consommables, des examens, etc.
- *Le secteur administratif* : Il regroupe la direction générale, le service financier, le service du personnel, etc.

Au sein d'un établissement hospitalier, le bloc opératoire représente un des secteurs majeurs et certainement l'un des plus emblématiques et le plus coûteux (plus de 10% du budget de

l'hôpital) (Macario *et al.*, 1995). Il semble alors judicieux de focaliser nos efforts sur cette entité.

1.2.2 Gestion des blocs opératoires

L'activité hospitalière se présente sous diverses formes : soins externes et consultations, passages aux urgences, interventions chirurgicales, ambulatoire ou partielle, qui ne dure qu'une journée, ou hospitalisation complète de plusieurs jours qui correspond à la forme la plus usuelle.

Le bloc opératoire est en général désigné comme la composante la plus coûteuse au sein de l'hôpital (Rossi-Turck, 2002) (Jebali *et al.*, 2006). Dans son étude, Rossi-Turck a présenté un tableau avec la part des dépenses du bloc par rapport au budget global dans différents hôpitaux Belges. Cette étude a montré que le bloc est, d'une part le service le plus coûteux et, d'autre part, il représente la deuxième source de dépenses après la pharmacie. Dans (Clergue, 1999) et (Macario *et al.*, 1995), les auteurs mentionnent que les gestionnaires hospitaliers semblent s'accorder sur le fait que 15% serait une bonne estimation du coût du bloc opératoire par rapport à l'ensemble de l'hôpital.

Ce poids économique fait que ce plateau interventionnel soit au cœur de l'hôpital et qu'à son rythme battent les autres services ainsi que le personnel hospitalier. L'activité de cette entité résulte de la coordination de compétences hétérogènes. On y trouve les chirurgiens, les infirmières de bloc opératoire, les aides-soignants, les brancardiers, les anesthésistes, les radiologues, etc. Cette organisation est encadrée par des gestionnaires essayant d'introduire et d'appliquer les dispositions légales et réglementaires.

Les gestionnaires du bloc opératoire font face à deux référentiels de la qualité qu'ils doivent satisfaire (Rossi-Turck *et al.*, 2004) et qui proviennent des exigences de deux « clients ». D'une part, le client patient à satisfaire, en lui garantissant les meilleurs services (actes diagnostiques et thérapeutiques) aux moindres risques iatrogènes (risques d'avoir des effets indésirables causés par un traitement médical). D'autre part, l'équipe chirurgicale, qui exige elle-même les meilleures conditions de travail afin d'exercer dans un cadre de sécurité et de qualité totale. Le bloc opératoire est donc un lieu complexe au sein duquel plusieurs intérêts divergent. La diversité en nombre et en type de ses ressources humaines et matérielles, quoique capitales pour son bon fonctionnement, rend sa gestion d'autant plus difficile. Les auteurs dans (Hanset *et al.*, 2009) confirment que si la gestion du bloc s'effectue de manière optimale, la qualité du travail des équipes chirurgicales sera récompensée et la qualité des soins des patients s'en trouve améliorée.

Pour faire face à ces défis et à ces exigences multiples, (Chaabane *et al.*, 2003) indiquent que les blocs opératoires doivent adopter une gestion objective, intégrant de nouvelles cultures et expertises. L'objectif est d'optimiser l'organisation des blocs pour offrir aux patients des soins de qualité tout en maîtrisant les coûts. Nous présentons dans ce qui suit une description détaillée du bloc opératoire. Nous analyserons ensuite les différentes stratégies adoptées dans la littérature pour la programmation opératoire.

1.2.2.1 Description du bloc opératoire

Le bloc opératoire est le nœud central au sein d'un hôpital, d'une part, en termes de nombre et type des ressources mises en jeu et d'autre part, il est en permanence en interactions avec différents services et activités. Comme souligné dans (Revel *et al.*, 2003) : « *Le bloc opératoire est à l'interface de nombreuses activités : chirurgie, obstétrique, anesthésie, explorations fonctionnelles, radiologie et biologie. Une organisation plus efficace des blocs opératoires est nécessaire pour mieux utiliser les moyens humains et techniques disponibles et améliorer leur productivité. La gestion des blocs opératoires devrait pouvoir évoluer rapidement vers des centres de responsabilité dans les établissements publics* ». La Figure 1.3 montre l'interaction entre le bloc opératoire et les autres services.

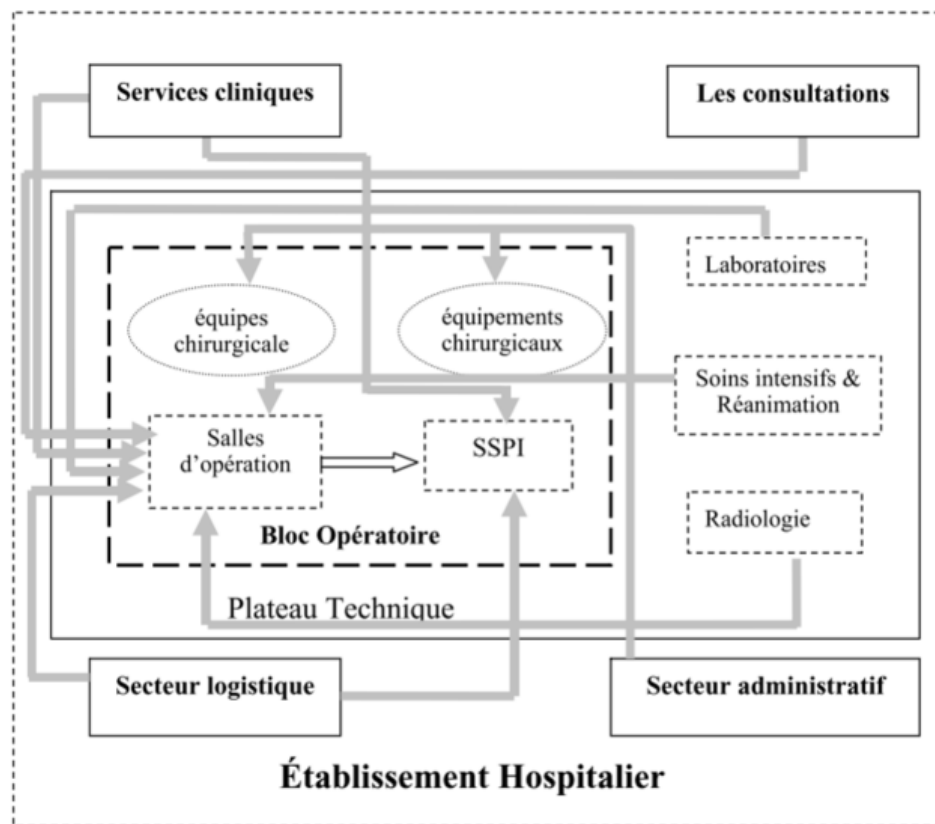


Figure 1.3 Interrelation entre le bloc opératoire et les autres services (Fei, 2006)

Au sein d'un bloc opératoire, existent principalement trois types de flux de patients : électifs, ambulatoires et urgents :

- *Les opérations électives ou réglées* : concernent principalement les opérations qui sont planifiées par le chirurgien lors d'une consultation avec le patient. Pour ces opérations, le patient nécessite une hospitalisation en unité de soins.
- *Les opérations ambulatoires* : regroupent les opérations dont le mode de prise en charge permet de raccourcir le séjour du patient à une seule journée.
- *Les opérations urgentes* : Comme suggéré par leur nom, ces opérations ne sont pas prévues et arrivent subitement. Elles peuvent provenir soit d'une unité d'hospitalisation (cas d'un malade déjà opéré présentant des complications postopératoires), soit de la réanimation, soit du service d'accueil des urgences.

Le mode de prise en charge des patients diffère selon la configuration architecturale du plateau médical technique. On distingue principalement deux catégories de configurations architecturales. Dans la première, les trois modes de prise en charge sont séparés et il existe un bloc dédié pour chaque type d'opération. Dans la deuxième configuration, deux ou trois modes de prise en charge sont intégrés dans le bloc opératoire.

Le plateau technique de chirurgie est défini par Baubeau et Thomson (2002) comme étant « l'ensemble des moyens humains et des équipements (en l'occurrence, les salles) mobilisés autour de l'activité chirurgicale ou anesthésique et, par extension, l'établissement géographique au sein duquel cette activité a lieu. ».

Nous récapitulons les différentes configurations architecturales des plateaux médicot techniques dans le Tableau 1.1.

En plus de la diversité en termes de trajectoires des patients au sein du bloc opératoire, s'ajoute la diversité en termes de configurations architecturales des plateaux auxquels ils appartiennent (Tableau 1.1) et également la diversité des ressources et des équipements nécessaires au bon fonctionnement de cette entité. Dans son manuscrit, Chaabane (2004) distingue trois types de ressources différentes : humaines, matérielles et informationnelles.

Parmi les ressources humaines, on trouve : les chirurgiens (CHIR), les médecins anesthésistes-réanimateurs (MAR), les infirmiers anesthésistes diplômés d'Etat (IADE), les infirmiers de bloc opératoire diplômés d'état (IBODE), les aides-soignants, les brancardiers, les infirmiers diplômés d'état (IDE), les secrétaires et le responsable du bloc opératoire.

Les principales ressources matérielles sont :

- Les salles d'opérations où les interventions chirurgicales sont réalisées.
- La salle de surveillance post-interventionnelle (SSPI), appelée aussi salle de réveil. Elle contient des lits pour accueillir les patients opérés en phase de réveil.
- La salle d'induction, appelée également salle d'anesthésie, elle est destinée à l'accueil du patient avant son entrée en salle opératoire pour le préparer à l'anesthésie. Elle peut être commune à plusieurs salles opératoires.

Tableau 1.1 Différentes configurations architecturales des plateaux médicotéchniques et leurs modes de prise en charge

Séparation des trois modes de prise en charge		
Blocs dédiés aux urgences	Les blocs sont consacrés uniquement à la prise en charge des opérations urgentes (en priorité les urgences vitales). Les équipes médicales et soignantes qui y sont affectées ne sont pas mutualisées et sont complètement affectées à cette structure.	
Blocs pour les chirurgies électives (Besombes <i>et al.</i> , 2004)	Plateau pluridisciplinaire (mono-site)	Se caractérise par le regroupement de toutes les spécialités chirurgicales partageant ainsi l'ensemble des ressources (salles opératoires, salles de réveil et personnels).
	Plateau pluridisciplinaire et blocs de spécialité (multi sites)	Certaines spécialités conservent leur indépendance alors que d'autres sont regroupées et se partagent les ressources qui sont mutualisées.
	Blocs de spécialité (multi-sites)	Chaque spécialité fonctionne d'une manière indépendante et autonome et possède ses propres ressources et assure sa gestion.
Blocs dédiés aux chirurgies ambulatoires (Massip, 2001)	Centres indépendants, détachés des établissements de soins	Ils assurent leur fonctionnement d'une manière autonome
	Centres satellites	Ils assurent une activité généraliste pluridisciplinaire, recouvrent l'ensemble des spécialités et ont un fonctionnement indépendant.
Intégration de deux ou trois modes		
Salles d'urgence intégrées	Certaines salles et ressources humaines (infirmières et médecins anesthésistes) sont réservées pour les urgences. En cas de besoin, ces ressources peuvent être utilisées pour la réalisation d'une opération élective. De même, les opérations urgentes pourront être effectuées dans des salles opératoires mieux équipées pour ce type d'intervention. Une telle configuration offre alors plus de flexibilité (Besombes <i>et al.</i> , 2004)	
Salles mixtes : chirurgie élective et d'urgences	Pour cette configuration, aucune salle opératoire n'est dédiée aux urgences. Les urgences sont insérées dans le programme opératoire. Chaque arrivée d'une opération urgente engendre un réordonnancement des interventions en fonction des priorités.	

Il existe également un flux informationnel accompagnant chaque patient lors de son processus opératoire. En effet, nombreuses sont les informations qui sont échangées et circulent entre les différents acteurs du bloc, soit oralement (des indications du médecin ou de l'anesthésiste réanimateur aux infirmiers), soit de manière écrite. Ces informations peuvent être purement médicales, concerner la trajectoire du patient (heures d'entrée, de sortie) ou avoir un aspect organisationnel (préparation de la prochaine intervention). Ces informations constituent les données qui sont utilisées dans les travaux de planification des blocs opératoires.

A ce niveau, nous avons présenté une description détaillée du bloc opératoire. C'est une entité en perpétuelle interaction avec plusieurs services, accueillant différents types de flux patients à gérer (électifs, ambulatoires et urgents) et mettant en œuvre des ressources humaines, matérielles et informationnelles. La réalisation efficace d'un travail conjoint et l'enchaînement des actes chirurgicaux sont la clé vers une utilisation optimale du bloc opératoire. Pour atteindre cet objectif, la programmation opératoire semble être l'outil adéquat pour l'harmonisation et la synchronisation des différentes étapes du processus opératoire. Nous détaillons dans la partie suivante, les différentes stratégies utilisées dans la littérature pour l'élaboration du programme opératoire.

1.2.2.2 Programmation opératoire

Compte tenu des investissements lourds réalisés et des ressources humaines et matérielles mobilisées, il est primordial d'harmoniser et de synchroniser le travail de ces ressources et effectifs pour un rendement optimal du bloc opératoire. Jebali (2004) explique que dans une optique d'optimisation, la planification et l'ordonnancement sont des outils primordiaux. Dans son manuscrit, elle définit également l'ordonnancement du bloc opératoire, dit « programmation opératoire », comme un instrument de gestion permettant de préciser l'ordre des interventions à réaliser sur une période variant d'une journée à une semaine (ou plus), leur attribuant les ressources nécessaires et en fixant l'ordre de leur exécution.

Selon (Magerlein et Martin, 1978), la programmation opératoire réunit deux sous-problèmes séquentiels :

- *Advance scheduling* : La planification qui consiste à affecter une date d'opération aux patients dans l'avenir.
- *Allocation scheduling* : L'ordonnancement qui permet de déterminer l'ordre des interventions dans un bloc opératoire pour une journée donnée.

La programmation opératoire doit être la plus efficace possible. Dans l'ensemble, elle devra garantir une utilisation efficiente et à moindre coût des ressources. Elle devra respecter la charge horaire journalière des ressources humaines et matérielles mises à disposition en garantissant la santé de l'ensemble des patients (respect des priorités médicales) et leur satisfaction (respect des durées opératoires annoncées).

La construction du programme opératoire a fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années. Trois modèles ressortent : la programmation par allocation préalable de plages horaires

(*block scheduling*), la programmation ouverte (*open scheduling*), et la programmation par allocation et ajustement de plages (*modified block scheduling*) (Patterson, 1996), (Kharraja, 2003). Jebali y ajoute un quatrième niveau en (2004) : les décisions en temps réel, qui permettent au gestionnaire du bloc opératoire de réagir devant les différents aléas, assez fréquents, auxquels il fait face.

A noter que certains auteurs se sont démarqués et ont utilisé d'autres outils et méthodes pour la programmation opératoire. Par exemple, Rossi-Turck (2002) s'est inspiré des outils de la gestion industrielle pour une exploitation optimale du bloc opératoire.

L'auteur a utilisé la méthode MRP II pour la programmation des opérations et le calcul des besoins en ressources. La Figure 1.4 illustre la transposition adoptée par l'auteur des trois niveaux de la méthode MRP II à la programmation opératoire :

- Le plan d'activité est établi au niveau des disciplines chirurgicales. Ce plan est le fruit d'un dialogue constructif entre tous les acteurs clés intervenant au bloc : chirurgiens, anesthésistes, techniciens, etc. Son objectif est de permettre un cadrage de l'activité qui facilite l'orientation de l'affectation des ressources au sein du bloc. Il permet essentiellement de prédire l'inadéquation entre la capacité et la charge prévue du programme prévisionnel établi. L'horizon de planification est au minimum le mois et la périodicité peut être le jour.
- Le plan directeur de production définit l'échéancier des interventions. L'horizon est au minimum la semaine et la période la journée voire la demi-journée. Il est l'objet d'un calcul glissant de jour en jour et est réparti en trois zones : Une zone ferme à partir de laquelle on n'accepte plus de modifications ($J-24$ heures où le jour J de réalisation des interventions programmées). Une zone flexible à $J-7$ jours. Les modifications sont acceptées, dans le cadre d'un consensus entre les acteurs clés jusqu'au jour $J-1$. La dernière zone, la zone libre ($>J+7$), est susceptible pour toutes modifications éventuelles.
- Le calcul des besoins nets permet de déterminer les besoins en ressources à partir du planning prévisionnel des interventions à réaliser. Il fournit les approvisionnements et les commandes à planifier pour les périodes à venir.

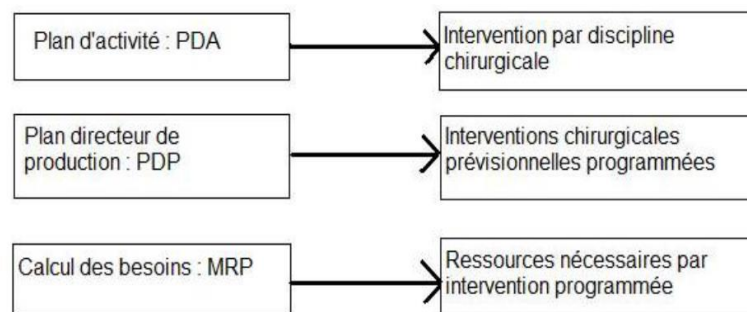


Figure 1.4 Transposition des trois niveaux de planification MRP II au bloc opératoire (Rossi-Turck, 2002)

Dans ce qui suit, nous nous focalisons sur les trois stratégies les plus utilisées pour l'élaboration du programme opératoire.

La stratégie « Block scheduling »

Comme son nom l'indique, la programmation par pré allocation de plages horaires consiste à allouer au préalable des plages horaires à des chirurgiens, des unités chirurgicales (groupes de chirurgiens) ou des spécialités médicales. L'ensemble des plages horaires réservées constitue le squelette du programme opératoire pour la semaine (Figure 1.5). La difficulté de ce type de programmation réside dans la construction du plan directeur d'allocation (PDA) dit également *Master Surgical Schedule* qui respecterait les disponibilités et les préférences des différents chirurgiens (Magerlein et Martin, 1978), (Przasnyski, 1986), (Kennedy, 1992), (Blake et Carter, 1997a) et (Blake et Carter, 1997b).

Selon (Kharraja, 2003), les travaux pour la construction du PDA peuvent être répartis en deux classes. La première concerne les établissements qui ne posséderaient ni d'informations sur l'activité du bloc ni sur les participants. Ces établissements sont en général en train de mettre en place une nouvelle politique de gestion du bloc. La deuxième classe concerne les établissements qui possèdent déjà des informations sur leurs activités chirurgicales. Dans son manuscrit, Kharraja (2003) présente également les étapes pour la construction du PDA relatives aux deux classes précédemment présentées. Une première étape, commune aux deux classes, consiste à réaliser une ébauche du PDA. Ce modèle peut être déterminé en se basant soit sur un modèle de référence issu d'un établissement ayant les mêmes pratiques, soit sur l'expertise des acteurs du bloc (Stodd *et al.*, 1998). La deuxième étape a pour objectif de déterminer le volume global des plages pour chaque chirurgien ou groupe chirurgical. Cette étape diffère d'une classe à l'autre. Pour la première classe, c'est un processus d'apprentissage itératif dont la périodicité est fonction de l'amélioration des performances (Dexter et Traub, 2002) (Malhotra, 2001). Pour la deuxième classe, c'est une analyse quantitative et qualitative des données issues du système d'information de l'établissement qui est utilisée. Le gestionnaire du bloc opératoire peut mettre à jour périodiquement le PDA défini si besoin (Blake *et al.*, 2002).

	LUNDI						MARDI				
	8	10	12	14	16	18	10	12	14	16	18
Chirurgien 1				SALLE 1						SALLE 3	
Chirurgien 2	SALLE 3						SALLE 1				
Chirurgien 3				SALLE 3			SALLE 2				
Chirurgien 4							SALLE 3				
Chirurgien 5	SALLE 2									SALLE 2	

Figure 1.5 Exemple d'un PDA des lundis et mardis pour trois salles opératoires (Fei, 2006)

Une fois le PDA respectant le volume d'activité et les préférences des chirurgiens est défini, le responsable du bloc opératoire n'a alors qu'à gérer les problèmes de planification et

d'ordonnancement des interventions dans les plages horaires réservées aux différents chirurgiens.

La stratégie Open scheduling

Contrairement à la stratégie *Block scheduling*, la programmation ouverte consiste à proposer un programme à priori indemne de toute décision antérieure. Aucun chirurgien ne peut alors à priori réserver des plages horaires pour ses propres interventions. Deux approches sont principalement utilisées pour gérer le programme opératoire (Marcon *et al.*, 2003):

- *Premier arrivé premier servi (FCFS)* : L'élaboration du planning opératoire se fait par remplissage chronologique. Bien que cette méthode soit extrêmement simple à mettre en œuvre, elle présente certains inconvénients. Nous pouvons citer le fait qu'elle pourrait favoriser les activités chirurgicales planifiables sur le moyen et long terme (ophtalmologie, chirurgie plastique), par conséquent, elle défavorise les activités des chirurgiens ne pouvant pas prédire leur agenda à moyen terme. Dans les travaux de (Kontak-Forsyth et Grant, 1995), les auteurs indiquent que cette approche entraîne une sous-utilisation des ressources, un fort taux d'annulations et par conséquent des tensions entre les chirurgiens.
- *Négociation entre les acteurs* : dirigée par le responsable du bloc après une collecte de l'ensemble des demandes d'interventions, la construction du programme est élaborée suivant un processus de négociation entre les différents acteurs. La finalité de cette approche collective est d'obtenir un programme équitable entre tous les acteurs. C'est une technique assez souple et adaptable aux aléas. Néanmoins, il faut consacrer beaucoup de temps à la recherche d'un ordonnancement réalisable satisfaisant toutes les contraintes imposées par les différents acteurs. D'après une étude effectuée au CHU (Centre Hospitalier Universitaire) de la Croix Rousse (Lyon), Kharraja (2003) définit le modèle du processus de construction du programme opératoire. La Figure 1.6, qui illustre les différentes étapes de ce processus, démontre que lors de la réunion « colloque de bloc » de chaque semaine n , le conseil de bloc se réunit pour établir le programme opératoire pour la semaine $n+1$. Durant ce colloque, tous les pré-plannings doivent être harmonisés. La difficulté essentielle réside dans la recherche collective d'une solution pouvant satisfaire l'ensemble des intervenants. D'autre part, les auteurs dans (Marcon *et al.*, 2001a et 2001b) ont donné un modèle de négociation permettant d'évaluer le risque de non réalisation du programme proposé en fonction de la nature incertaine des durées opératoires. Si le risque de non réalisation est important, le programme sera modifié itérativement jusqu'à atteindre une solution admissible et satisfaisant au mieux les souhaits des différents acteurs.

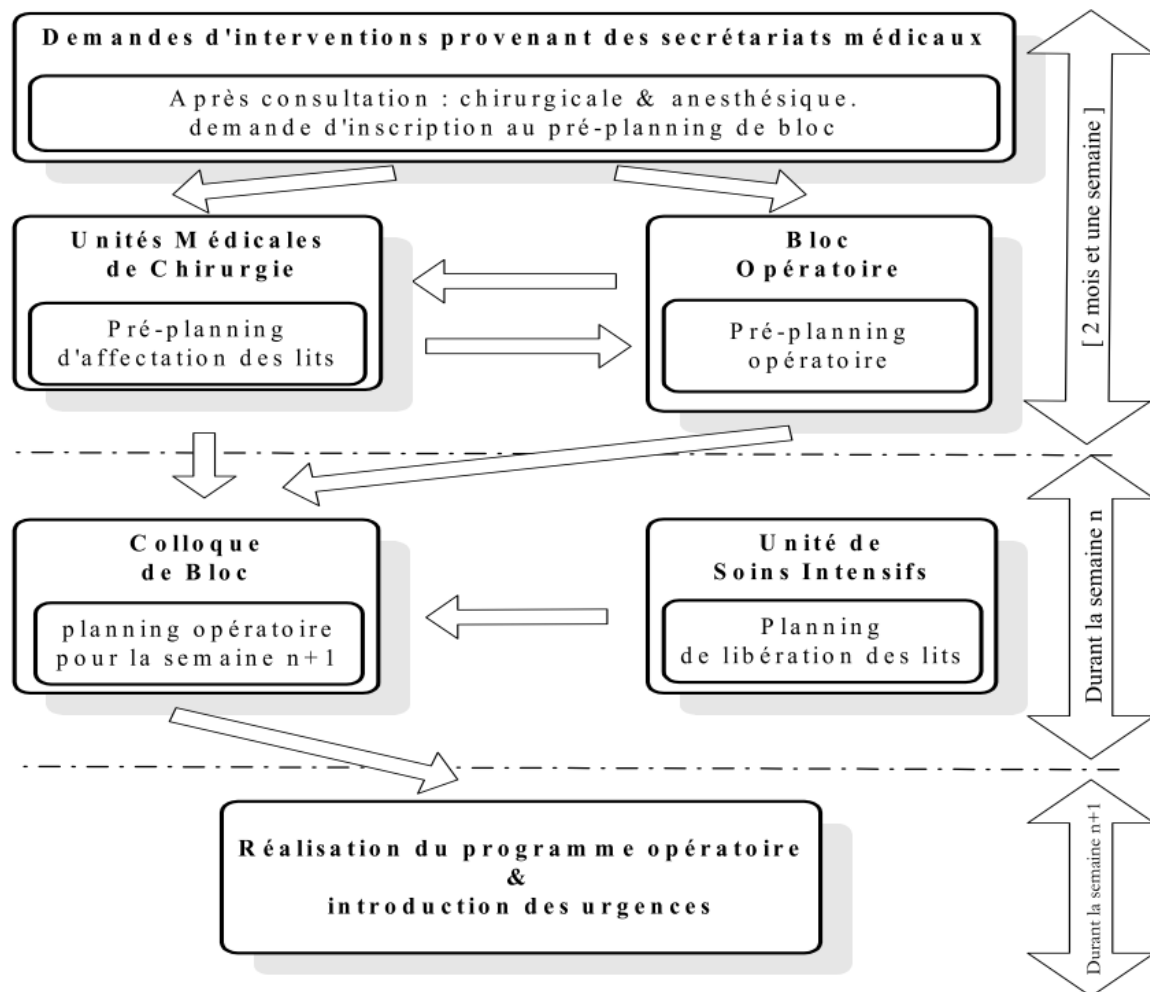


Figure 1.6 Processus de négociation pour l'élaboration du programme opératoire (Kharraja, 2003)

La stratégie Modified block scheduling

La programmation par pré-allocation de plages horaires avec processus d'ajustement combine les deux stratégies de programmation précédemment définies : une partie des plages horaires est allouée aux chirurgiens, l'autre partie reste commune pour tous les chirurgiens. Cette technique permet une plus grande souplesse. En effet, en fonction du déroulement du programme opératoire, le gestionnaire du bloc a la possibilité d'adapter les plages horaires ou, dans d'autres cas, de banaliser des plages préalablement attribuées. Deux pratiques sont couramment utilisées :

- *Unassigned block* : Consiste à intégrer dans le PDA des plages horaires « banalisées » afin de faire face aux surcharges de travail ponctuelles pour certains chirurgiens.

- *Released block time* : En adoptant cette pratique, le responsable du bloc doit surveiller le taux de remplissage des plages affectées. Il valide les durées des plages affectées. Ensuite, s'il existe des plages « délaissées » par leurs allocataires, le gestionnaire du bloc décide de les ajuster ou banaliser (Malhotra, 2001).

1.3 Revue de la littérature concernant la programmation opératoire des opérations électives

Analogiquement aux systèmes industriels, les problématiques rencontrées au sein d'un bloc opératoire appartiennent à différents niveaux de décision. Ces niveaux dépendent de l'horizon nécessaire pour appliquer les décisions. Les trois horizons temporels définis par (Ballou, 1992) sont : stratégique, tactique et opérationnel. Dans (Gourgand, 2008), l'auteur a défini ces niveaux dans le cadre des systèmes hospitaliers et a présenté les objectifs généralement considérés dans chacun :

- Décisions au niveau stratégique : Dimensionnement du bloc opératoire, répartition du budget entre les différentes spécialités, nombre d'heures d'ouverture des salles opératoires.
- Décisions au niveau tactique : Adéquation entre les ressources disponibles et les besoins. Planification des ressources requises pour l'intégralité de l'activité. Définition du nombre de salles opératoires à affecter à chaque spécialité, choix de la stratégie pour la construction du planning (*block* ou *open scheduling*).
- Décisions au niveau opérationnel : Concerne le pilotage du système à court terme. Programmation des opérations et allocation des ressources.

Au cours de la dernière décennie, plusieurs méthodes de recherche opérationnelle ont été appliquées afin de résoudre les problématiques de planification et d'ordonnancement au sein des blocs opératoires. Cette littérature abondante a donné naissance à des revues de la littérature intéressantes. Guerriero et Guido (2011), ont regroupé près de cent trente articles. Cette revue de la littérature synthétise la contribution de la recherche opérationnelle pour les systèmes de soins. Les travaux de Cardoen *et al.*, (2010), avec plus de cent vingt références, a traité la problématique de planification et d'ordonnancement dans les blocs opératoires.

Nous nous intéressons à la problématique de planification et d'ordonnancement au sein du bloc opératoire, et présentons quelques travaux en les classant en fonction des ressources matérielles et/ou humaines prises en compte lors de l'élaboration du programme opératoire prévisionnel.

Programmation opératoire centrée sur les salles opératoires

La capacité des salles opératoires est une contrainte commune à la majorité des travaux. L'utilisation optimale de la capacité disponible des salles opératoires est une mesure de performance régulièrement abordée dans la littérature (Testi *et al.*, 2007; Fei *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2011; Su *et al.*, 2011; Devi *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2011). Certains travaux imposent le respect de la capacité disponible et n'autorisent pas le dépassement des heures régulières

d'ouverture des salles opératoires (Addis *et al.*, 2014; Bruni *et al.*, 2015; Addis *et al.*, 2016; Cappanera *et al.*, 2016). Dans d'autres, les heures supplémentaires sont autorisées en essayant de minimiser la somme des heures supplémentaires engendrée (Hans *et al.*, 2008; Denton *et al.*, 2010; Min et Yih, 2010; Rachuba et Werners, 2013; Wang *et al.*, 2014). Afin de minimiser le recours aux heures supplémentaires, les auteurs dans (Landa *et al.*, 2016) limitent la probabilité d'y avoir recours tout en maximisant le taux d'occupation des salles opératoires et minimisant le taux d'annulation dû au dépassement des plages horaires disponibles.

Dans (Ogulata et Erol, 2003), les auteurs proposent un modèle de programmation mathématique multi objectif de type *goal programming*, permettant de définir le programme opératoire hebdomadaire. Le modèle proposé a pour objectif de minimiser la sous-utilisation des salles opératoires, d'équilibrer la distribution des interventions entre les équipes chirurgicales et de minimiser le temps d'attente des patients en termes de jours. Pour résoudre le modèle proposé, les auteurs ont adopté une approche hiérarchique en décomposant le problème d'ordonnancement en trois phases : Un sous-ensemble de patients est sélectionné pour être opérés pour la semaine à venir, qui tient compte de la priorité qui leur est attribuée. Ces patients vont être ensuite affectés aux groupes chirurgicaux. Une chirurgie ne peut être partagée entre deux groupes chirurgicaux. Enfin, la date de l'opération ainsi que la salle opératoire sont définies pour chaque patient.

Dans (Marques *et al.*, 2011), les auteurs ont proposé un modèle mathématique permettant de construire un programme opératoire prévisionnel. A cause de la complexité de la méthode exacte, ils ont proposé également une heuristique capable de construire un programme opératoire hebdomadaire. L'objectif considéré est la maximisation du taux d'occupation des salles opératoires. Plus tard, les mêmes auteurs ont proposé une approche de résolution basée sur un algorithme génétique (Marques, *et al.*, 2014). Ils ont pris en compte la disponibilité limitée des chirurgiens comme dans (Conforti *et al.*, 2010).

Le problème de la gestion des blocs opératoires se caractérise par une forte stochasticité. Cet aspect a été abordé dans les travaux de (Marcon *et al.*, 2001a) et (Marcon *et al.*, 2003). Les auteurs ont proposé un outil d'aide à la négociation pour l'élaboration d'un programme opératoire prévisionnel, maximisant le taux d'occupation des salles opératoires et respectant les durées d'ouverture régulières. L'outil proposé est basé sur deux phases : Une phase statique lissant la charge à planifier sur les durées d'ouverture des salles opératoires afin de minimiser le dépassement horaire et donc le risque de non réalisation. La deuxième phase du processus, dite phase dynamique, consiste à évaluer le risque de non réalisation des opérations planifiées et à apporter, si nécessaire, une modification après une négociation entre les différents acteurs du bloc opératoire.

Une autre contribution face à l'incertitude des durées opératoires est proposée dans (Hans *et al.*, 2008). Les auteurs ont proposé une planification robuste ayant pour objectif de maximiser le taux d'utilisation des salles opératoires et de minimiser les heures supplémentaires, et par conséquent de minimiser le taux d'annulation des opérations programmées. Une marge de sécurité est affectée à chacune des salles opératoires et permet d'absorber la variabilité de ces

dernières. Ils proposent de traiter le problème de planification robuste en utilisant plusieurs heuristiques de construction et deux recherches de voisinages (recuit simulé et algorithme glouton). La disponibilité des équipes médicales est prise en compte.

Dans (Denton *et al.*, 2010), les auteurs ont proposé une programmation en nombre entier mixte en deux étapes pour trouver une affectation optimale des opérations dans les salles opératoires. Ils développent également une formulation robuste qui vise à minimiser les coûts maximum qui peuvent résulter de l'ensemble des durées opératoire incertaines. La formulation robuste est avantageuse lorsque les données des durées des chirurgies sont disponibles.

Programmation opératoire centrée sur les salles opératoires et la salle de soins post interventionnels

Dans les travaux cités ci-dessus, la ressource considérée lors de l'élaboration du programme opératoire est la salle opératoire. Par ailleurs, si les patients ne quittent pas la salle opératoire après la fin de leur intervention à cause de l'indisponibilité des lits de réveil, cela engendre des perturbations dans le programme opératoire. De ce fait, un grand nombre de travaux se sont penché sur cette problématique en considérant la disponibilité des lits de réveil en plus de la disponibilité des salles opératoires.

En considérant simultanément les salles opératoires et la salle de soins post interventionnels (SSPI), le problème d'ordonnancement a souvent été assimilé à un flow shop hybride à deux étages (Fei *et al.*, 2010; Dekhici *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2013). Les méthodes de résolution adoptées sont respectivement : Un algorithme génétique hybride, un algorithme de recherche Tabou, le logiciel LINGO, un algorithme d'optimisation par essais particules.

Le problème de planification et d'ordonnancement des interventions a été résolu par (Guinet et Chaabane, 2003) en deux étapes. Dans un premier temps, les auteurs ont proposé un programme linéaire en nombres entiers permettant de résoudre le problème de planification qui consiste à affecter des interventions à des salles, en minimisant le temps d'attente des patients (l'écart entre la date d'hospitalisation et la date d'intervention) et les heures supplémentaires. La disponibilité des différentes ressources (les heures supplémentaires maximales autorisées, les heures d'ouverture régulières, le nombre maximal d'interventions effectuées par les chirurgiens par jour et le type d'équipement disponible dans chaque salle opératoire), les dates d'hospitalisation au plus tôt et au plus tard et la date d'intervention au plus tard sont les contraintes prises en compte dans ce modèle. La complexité du modèle proposé ne permettant pas sa résolution par un solveur commercial, les auteurs ont eu recours à une heuristique inspirée de la méthode Hongroise (Khun, 1955). Dans un deuxième temps, en plus des salles opératoires, les auteurs ont pris en compte les lits de réveils. Ce problème a été modélisé sous forme d'un flow shop hybride à deux étages avec une contrainte sans attente, puisque les auteurs supposent que les patients doivent être directement transférés à la salle SSPI. L'objectif est de minimiser le makespan de la salle de réveil.

Jebali *et al.* (2006) ont également adopté une approche à deux étapes pour l'élaboration du programme opératoire journalier. Pour la première étape, la planification, les actes chirurgicaux

sont affectés à des salles opératoires pendant une journée. Les auteurs ont proposé un programme en nombres entiers et ont utilisé CPLEX pour sa résolution. La fonction objectif, exprimée en terme de coût, est la même que dans (Guinet et Chaabane, 2003). Quant à la résolution du problème d'ordonnancement, les auteurs ont pris en considération la disponibilité des lits de réveil dans la salle des soins post interventionnels. Ils ont modélisé ce problème comme un flow shop hybride à deux étages ayant pour objectif la minimisation des heures supplémentaires. Deux stratégies différentes ont été testées. Dans la première, il n'est pas possible de remettre en question l'affectation des opérations aux salles opératoires, alors qu'avec la deuxième, certaines affectations peuvent être redéfinies pour obtenir une meilleure solution. Pareillement, dans (Kharraj *et al.*, 2002), les auteurs ont assimilé le même problème à un flow shop hybride à deux étages. L'objectif considéré est la minimisation du makespan au deuxième étage (les lits de réveil).

Dans la même logique, les auteurs de (Fei *et al.*, 2010) ont résolu les deux sous problèmes (*Advanced scheduling* et *Allocation scheduling*) séquentiellement. Ils ont proposé un modèle mathématique en nombres entiers multi objectif qui vise à minimiser le coût des heures supplémentaires et des heures de sous-utilisation. Ce modèle est résolu par des procédures heuristiques et par un algorithme de type « Branch-and-Price », basés sur la génération de colonnes. Le sous problème *Allocation scheduling* a été modélisé comme étant un flow shop hybride à deux étages (les salles opératoires pour le premier étage et les lits de réveil pour le deuxième), avec comme objectif la minimisation du makespan des salles d'opérations et de la salle de réveil. Les auteurs ont adopté l'hypothèse que les patients peuvent commencer leur réveil dans la salle opératoire si tous les lits de réveil sont occupés. Cette hypothèse permet d'alléger le taux d'occupation de la salle de réveil, mais provoque par ailleurs des blocages dans les salles opératoires. Le flow shop hybride proposé est résolu par un algorithme hybride génétique-Tabou.

Un autre outil est également utilisé pour l'élaboration du programme opératoire. Les auteurs dans (Dussauchoy *et al.*, 2003) utilisent la simulation à événements discrets pour modéliser le fonctionnement du bloc opératoire. En combinant différentes règles d'ordonnancement des opérations, les auteurs ont testé plusieurs scénarii de dimensionnement en nombre de salles et en lits de réveil et ont fait deux constatations importantes : La première est que l'ordonnancement a une influence directe sur l'occupation des lits de réveil. La deuxième est que la règle d'ordonnancement de type *Longest Processing Time (LPT)* : avec laquelle les opérations les plus longues sont placées en début du programme opératoire) permet de réduire la durée d'ouverture de la salle de soins post opératoire.

Programmation opératoire centrée sur les brancardiers, les salles opératoires et la salle de soins post interventionnels

Pour étendre leur travail présenté dans (Guinet et Chaabane, 2003), les auteurs ont considéré les brancardiers comme troisième ressource en plus des salles opératoires et des lits de réveils. Dans (Chaabane *et al.*, 2004), l'ensemble est assimilé à un flow shop hybride à 3 étages avec contraintes de précédences. Les auteurs ont comparé plusieurs règles d'ordonnancement et ont

déduit que le couple NEHP (Nawaz, Enscore et Ham associé à l'indice de Palmer), et LBM (Last Busy Machine) donnent les meilleures solutions.

Plus tard, dans (Saadani, *et al.*, 2006) les auteurs ont proposé une amélioration de la meilleure heuristique proposée dans (Chaabane, *et al.*, 2004). Les ressources considérées dans leurs travaux sont : les brancardiers (brancardage aller), les salles d'opérations, les postes de réveil et les brancardiers (brancardage de retour). Cet ensemble est assimilé à un flow shop hybride avec cycles, plus génériquement, sous la forme d'un job shop avec machines dupliquées. L'objectif considéré par les auteurs est de minimiser le makespan. Ils ont proposé une heuristique utilisant une variation de l'indice de Palmer appliqué avec les règles NEH (Nawaz, Enscore et Ham) et LBM. L'heuristique proposée a fait preuve d'efficacité en comparaison aux travaux de (Chaabane *et al.*, 2004).

Dans leurs travaux, les auteurs de (Perdomo *et al.*, 2006) et de (Augusto *et al.*, 2010) considèrent les quatre étapes de processus opératoire suivantes : (1) le transfert du patient de son lit d'hospitalisation vers le bloc opératoire par des brancardiers, (2) l'acte chirurgical dans une salle opératoire, (3) le transfert du patient vers la SSPI, et finalement (4) la prise en charge par le brancardier du patient de son lit de réveil vers son lit d'hospitalisation. En plus de ces étapes, les auteurs prennent également en compte le nettoyage de la salle opératoire à la fin de chaque opération (en parallèle avec le réveil du patient). Le réveil est anticipé dans les salles opératoires si le brancardier n'est pas disponible ou si tous les lits de réveils sont occupés. Pour la résolution de ce problème d'ordonnancement, les auteurs de (Perdomo *et al.*, 2006) utilisent une relaxation lagrangienne pour la résolution du modèle mathématique proposé. L'objectif considéré est de minimiser les temps d'achèvement des différentes étapes chirurgicales par lesquelles passe un patient. Quatre ans plus tard, les auteurs assimilent le problème à un flow shop hybride à 4 étages et le résolvent en utilisant une relaxation Lagrangienne (Augusto *et al.*, 2010).

D'autres auteurs traitent le dimensionnement des ressources nécessaires. A l'aide de la simulation à événements discrets, les auteurs de (Smolski *et al.*, 2002; Marcon *et al.*, 2003) tentent de déterminer le nombre minimal de lits de réveils et de brancardiers.

Autre

D'autres ressources humaines et matérielles ont été prises en compte lors de l'élaboration du programme opératoire.

Les infirmiers de la salle de réveil ont été considérés comme ressource principale dans (Hsu, *et al.*, 2003). Dans un contexte de chirurgie ambulatoire, ces auteurs ont modélisé le problème d'ordonnancement comme un flow shop à deux étages avec contrainte sans attente entre les deux étages. Les salles opératoires constituent le premier étage avec les chirurgiens comme ressource principale. Le deuxième étage représente l'ensemble des lits de réveil, avec les infirmiers comme ressource principale. Deux objectifs sont considérés : minimiser le makespan et minimiser le nombre d'infirmiers dans la salle de réveil. Une heuristique de type recherche tabou a été utilisée pour la résolution de ce problème.

En plus des infirmiers et des chirurgiens, les auteurs de (Pham et Klinkert, 2008) ont également pris en compte l'unité de soins intensifs. Le problème est modélisé sous la forme d'un job shop généralisé (multi mode blocking job shop) et est résolu en utilisant la programmation en nombres mixtes avec l'objectif de minimiser le makespan.

Le modèle mathématique proposé dans (Roland *et al.*, 2006) prend en considération des contraintes de ressources renouvelables : chirurgiens, anesthésistes, infirmières et non renouvelables : produits pharmaceutiques et matériels stérilisés. L'objectif du modèle mathématique proposé est de minimiser les coûts d'ouverture des salles opératoires et minimiser les heures supplémentaires. Dans (Roland *et al.*, 2010), les auteurs ont présenté une version légèrement modifiée de ce modèle. Les auteurs considèrent l'hypothèse que les ressources humaines impliquées peuvent quitter la chirurgie avant sa fin. Dans ces deux travaux, une approche basée sur un algorithme génétique a été développée, et les performances ont été validées sur différents scénarios réels d'un hôpital Belge.

Les programmes opératoires prévisionnels sont influencés par les ressources hors bloc, par exemple, la salle des soins intensifs. En effet, un patient qui nécessite des soins intensifs après son opération, ne pourra être programmé que s'il existe un lit libre dans la salle de soins intensifs. De ce fait, les auteurs de (Kim *et al.*, 1999, 2000; Kim et Horowitz, 2002) polarisent leurs travaux sur la gestion des unités de soins intensifs. Différents aspects ont été abordés par ces auteurs. Dans (Kim *et al.*, 1999), les auteurs ont utilisé un outil de simulation pour étudier les performances d'une unité de soins intensifs. Les indicateurs utilisés sont la probabilité qu'un patient soit accepté sans attente ou le taux de rejet, par exemple. L'unité de soins intensifs est modélisée par une file d'attente multiserveur. Plus tard, les mêmes auteurs, dans (Kim *et al.*, 2000; Kim et Horowitz, 2002), ont évalué cinq stratégies d'affectation des lits dans l'unité de soins intensifs. L'objectif considéré est de minimiser le nombre d'opérations électives annulées faute de disponibilité de lits dans l'unité de soins intensifs. Les auteurs proposent de réserver un nombre de lits pour la prise en charge des patients électifs. Une file d'attente modélise l'unité comme dans les travaux de 1999. La loi de distribution d'arrivée des patients est la loi de Poisson, les temps de services suivent une loi exponentielle pour les patients non électifs. Quant aux patients électifs, les temps de services sont une somme pondérée de trois lois Gamma (chacune représente une catégorie de patient classée en fonction du délai de séjour au sein de l'unité de soins intensifs). La réservation exclusive de lits pour les opérations électives a permis de réduire notablement le nombre d'interventions annulées. Les auteurs ont également déduit que le nombre de lits à réserver peut changer et montre des aspects de saisonnalité.

De la même façon, les auteurs de (Kharraja, *et al.*, 2006) ont considéré trois étages pour l'élaboration du programme opératoire. Le troisième étage correspond à l'unité des soins intensifs, en plus des salles opératoires et de la salle de soins post interventionnels. L'objectif pris en compte est de minimiser la différence entre l'offre et la demande hebdomadaire de l'ensemble des chirurgiens.

Les auteurs de (Chaabane *et al.*, 2007) comparent les trois stratégies d'élaboration d'un programme opératoire : *Block scheduling*, *Modified-block scheduling* et *Open scheduling*. Ils prennent en compte la disponibilité du matériel spécifique, de l'anesthésiste et du chirurgien nécessaires à chaque opération. Pour leurs expérimentations, les auteurs ont utilisé des données réelles d'un hôpital belge. Le taux d'occupation, les heures supplémentaires, le nombre de salles opératoires en dépassement horaire, le taux de planification des opérations et le taux d'utilisation des plages horaires disponibles sont les critères de performance considérés pour les comparaisons effectuées.

1.4 Synthèse de la revue de la littérature et objectifs de notre recherche

Pour ce travail, nous nous sommes focalisés, parmi l'abondante littérature existante, sur les travaux ayant abordé la problématique de planification et d'ordonnancement des opérations électives au sein du bloc opératoire. Cette problématique est divisée en deux sous problèmes *Advanced scheduling* et *Allocation scheduling*. Certains travaux ont traité uniquement le premier sous-problème de planification (Ozkarahan, 1995, 2000; Gerchak, *et al.*, 1996; Marcon, *et al.*, 2001a; Lovejoy et Li, 2002; Guinet et Chaabane, 2003; Kuo *et al.*, 2003; Ogulata et Erol, 2003; Fei *et al.*, 2005). D'autres ont abordé le problème d'ordonnancement (Dexter *et al.*, 1999, 2002; Dexter *et al.*, 1999; Fei *et al.*, 2004). Finalement, nous retrouvons des auteurs ayant résolu les deux problèmes d'une manière séquentielle ou simultanément (Chaabane, 2004a; Jebali, 2004b; Aïda Jebali *et al.*, 2006; Velásquez et Melo, 2006; Beliën *et al.*, 2009; Roland *et al.*, 2010; Marques *et al.*, 2011; Marques, *et al.*, 2014).

Plusieurs objectifs ont été considérés lors de l'élaboration des programmes opératoires dans les différents travaux existants. Certains tentent de minimiser les coûts d'exploitation (Dexter *et al.*, 2002; Lovejoy et Li, 2002; Dexter et Ledolter, 2003; Dexter *et al.*, 2005; Bruni *et al.*, 2015). D'autres travaux ont considéré des objectifs pour optimiser l'utilisation des ressources exploitées. Certains tentent de maximiser l'utilisation des ressources (Dexter, 2000; Guinet et Chaabane, 2003; Marcon *et al.*, 2003; Sciomachen *et al.*, 2005; Denton *et al.*, 2006; Marcon et Dexter, 2006; Fei *et al.*, 2008; Hans *et al.*, 2008; Pham et Klinkert, 2008; Bouguerra *et al.*, 2015). D'autres essaient d'équilibrer la charge répartie entre :

- (1) Les salles opératoires ou groupes de chirurgiens (Marcon *et al.*, 2003; Ogulata et Erol, 2003; Beli et Demeulemeester, 2006)
- (2) Les services de soins (Beliën et Demeulemeester, 2007; Santibáñez *et al.*, 2007; Van Oostrum *et al.*, 2008)
- (3) Les salles de réveil (Beli et Demeulemeester, 2006; Marcon et Dexter, 2006)

Nous retrouvons également des auteurs qui essaient de maximiser la satisfaction des patients et/ou des chirurgiens en minimisant leur temps d'attente (Arenas *et al.*, 2002; Everett, 2002; Testi *et al.*, 2007; Rachuba et Werners, 2013). Les préférences de certaines ressources humaines sont prises en considération dans (Ozkarahan, 2000; Krempels et Panchenko, 2006;

Velásquez et Melo, 2006; Tan *et al.*, 2007). D'autres auteurs considèrent plusieurs objectifs, parfois même antagonistes (Cardoen *et al.*, 2006; Cardoen, *et al.*, 2009; Conforti, *et al.*, 2010; Cappanera, *et al.*, 2016; Guido et Conforti, 2017).

Différents outils de résolution ont été appliqués pour la construction des programmes opératoires prévisionnels. Nous distinguons principalement :

- (1) La programmation mathématique : (Dexter et Traub, 2002; Jebali, *et al.*, 2006; Beliën et Demeulemeester, 2007; Pham et Klinkert, 2008). Des approches de goal programming pour les problèmes multi objectifs ont été testées (Ozkarahan, 2000a; Blake et Donald, 2002; Ogulata et Erol, 2003). Nous distinguons également les approches du type relaxation lagrangienne qui permettent de relaxer les contraintes les plus restrictives du problème (Perdomo, *et al.*, 2006; Augusto, *et al.*, 2010) .
- (2) Les heuristiques : face à la difficulté généralement rencontrée pour la résolution des problèmes de grandes tailles avec les méthodes exactes, certains auteurs proposent également des heuristiques. Nous distinguons les heuristiques constructives (Guinet et Chaabane, 2003; Liu *et al.*, 2011) et d'amélioration (Marcon *et al.*, 2003; Hans *et al.*, 2008)
- (3) Les méta heuristiques : recuit simulé (Beliën et Demeulemeester, 2007), génération de colonnes (Fei *et al.*, 2004; Fei *et al.*, 2009), algorithmes génétiques seuls (Roland *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2014; Guido et Conforti, 2017), ou combinés avec une autre méthode (Fei et Meskens, 2006; Fei *et al.*, 2008; Amin-Naseri et Afshari, 2012; Guido et Conforti, 2017)
- (4) La simulation à évènements discrets : Elle est souvent utilisée pour le dimensionnement des ressources (Jun, *et al.*, 1999; Everett, 2002; Harper, 2002; Sciomachen *et al.*, 2005; Vanberkel et Blake, 2007; M'Hallah et Al-Roomi, 2014).

Chacun des travaux existants à ses spécificités et un cadre particulier qui imposent différentes contraintes, variables de décision et hypothèses de travail. En effet, l'élaboration d'un programme opératoire est un processus complexe au vu des contraintes qu'il doit respecter. Mais, malgré cette hétérogénéité, nous pouvons déduire que :

- La majorité des articles considèrent que les chirurgiens et les salles opératoires sont les ressources les plus importantes dans le processus opératoire.
- La plupart des travaux prennent en compte la disponibilité des chirurgiens, mais plus rares sont ceux qui considèrent leurs disponibilités horaires.
- Les autres ressources (humaines et matérielles) intervenantes dans le processus opératoire (brancardiers, lits de réveil, postes d'anesthésie, infirmières...) sont également importantes pour la réalisation du programme opératoire prévisionnel. Mais rares sont les travaux qui prennent le risque de prendre en compte toutes ces ressources et définir une solution globale.

Ce travail a été effectué en collaboration avec le bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax. Lors de nos visites et réunions, la responsable du bloc opératoire nous a fait part de certaines inefficacités dans les pratiques courantes du bloc. En effet, à ce jour, la stratégie adoptée pour l'élaboration du programme opératoire prévisionnel est la stratégie *block scheduling*. Malgré le confort qu'offre cette stratégie pour la responsable du bloc opératoire, elle a constaté que certains chirurgiens n'exploitent pas entièrement leurs plages horaires, alors que d'autres dépassent les temps qui leur sont alloués. Cela engendre souvent des dépassements des plages horaires. Les conséquences sont, soit des heures supplémentaires, soit des démarrages tardifs pour les créneaux postérieurs d'autres chirurgiens. Les plages horaires sous exploitées, quant à elles, engendrent des temps entre interventions trop importants et, par conséquent, une sous exploitation de la capacité disponible du bloc opératoire.

Une autre ressource contribue au non-respect du programme opératoire prévisionnel : les brancardiers. En effet, la prise en charge tardive des patients par les brancardiers pour les amener au bloc opératoire entraîne des démarrages tardifs des opérations des patients en question. De ce fait, la prise en compte de cette ressource est indispensable pour le bon déroulement du programme opératoire prévisionnel.

La responsable du bloc opératoire nous a également fait part du projet de mise en place d'une salle d'induction au sein du bloc opératoire. Deux problématiques se présentent, la première est une question de dimensionnement : combien de postes de préparation mettre en place ? La deuxième problématique est la prise en charge de cette ressource dans le parcours patient et notamment dans l'élaboration du programme opératoire.

Au vu de ces constatations et des demandes exprimées par la responsable du bloc opératoire, notre objectif est de fournir un outil permettant d'établir un programme opératoire hebdomadaire prévisionnel, respectant l'ensemble des contraintes citées ci-dessus. Par ailleurs, la prise en compte simultanée de toutes ces contraintes accroît la complexité de notre problème, et nous nous retrouvons alors face à une explosion combinatoire rendant sa résolution impossible dans des délais raisonnables.

Nous avons décidé alors de proposer une nouvelle philosophie de résolution pour le problème de planification et d'ordonnancement. Notre approche se décompose en deux étapes. La première étape consiste à établir un programme opératoire en prenant en considération les ressources jugées les plus importantes et indispensables pour la réalisation du programme opératoire (salles opératoires et chirurgiens). Nous prenons en compte la disponibilité horaire des chirurgiens. La deuxième étape consiste à synchroniser le reste des ressources humaines et matérielles (brancardiers, salle d'induction, lits de réveil) intervenantes dans le processus opératoire autour du programme opératoire défini.

Pour la première étape, présentée dans le Chapitre 2, nous proposons et comparons deux modèles mathématiques (le premier avec horizon discrétisé, le deuxième en temps continu). Nous proposons également une heuristique constructive, basée sur le modèle discrétisé.

Pour la deuxième étape, présentée dans le Chapitre 3, nous analysons le processus opératoire, et l'assimilons à un flow shop hybride à 4 étages avec contrainte de blocage *RSb*. Nous proposons un algorithme génétique pour la résolution de ce problème. Nous avons également utilisé cet algorithme, à travers différentes simulations, pour déterminer le nombre nécessaire de ressources intervenantes en fonction du nombre des salles opératoires utilisées.

Dans le dernier chapitre de cette thèse, nous proposons aussi une procédure permettant l'intégration des opérations urgentes, en temps réel, dans un programme opératoire existant. Les objectifs de cette procédure sont, dans un premier temps, de minimiser le nombre d'heures supplémentaires générées par l'occurrence de l'urgence, puis, dans un second temps, de limiter les temps d'attente des patients électifs. Les contraintes qui nous ont été imposées, lors de la réalisation de ce travail, sont celles auxquelles sont confrontés les établissements hospitaliers depuis 2007, avec les objectifs financiers qui leurs sont fixés par la Haute Autorité de Santé. L'analyse de la littérature sur la prise en compte des opérations électives n'est pas présentée dans la partie précédente mais est proposée dans le chapitre 4.

1.5 Conclusion

Ce premier chapitre nous a permis de mettre l'accent sur la complexité des systèmes hospitaliers et les difficultés auxquelles ils font face. A travers ce chapitre, nous comprenons l'importance du bloc opératoire au sein des établissements de santé et la complexité de la problématique d'élaboration d'un programme opératoire prévisionnel.

Nous y avons présenté une revue de la littérature, dans laquelle nous avons abordé les travaux ayant traité la problématique de planification et d'ordonnancement au sein du bloc opératoire. Celle-ci nous a permis de définir les problématiques que nous abordons dans les chapitres suivants. Nous avons créé les outils qui permettent l'élaboration d'un programme opératoire hebdomadaire, définissant un ordonnancement pour l'ensemble des ressources intervenantes dans le processus opératoire.

Chapitre 2 Gestion des opérations électorales

2.1 Introduction

Le fonctionnement du bloc opératoire est déterminé par un programme opératoire prévisionnel qui est généralement le fruit d'une négociation entre les différents acteurs concernés et le responsable du bloc opératoire. La cause majeure des modifications des programmes prévisionnels établis est l'arrivée des opérations urgentes à intégrer dans le programme. Par ailleurs, une analyse établie par Rossi-Turck *et al.* (2004), sur une période d'une année et dans quatre hôpitaux différents, a révélé que la proportion des opérations urgentes (la cause majeure des modifications dans les programmes opératoires) par rapport aux opérations électives est de 20%. Ce qui signifie, a contrario, que 80% des opérations sont électives et pourront être planifiées en avance. Ces proportions justifient alors notre choix d'adopter une approche prévisionnelle pour la construction des programmes opératoires.

Dans ce chapitre, nous abordons la problématique d'ordonnancement des opérations électives. Dans la perspective de trouver l'outil adéquat permettant de construire un programme opératoire hebdomadaire, nous avons exploité différents axes de recherche. Nous proposons initialement un modèle mathématique discrétisé et une heuristique. Ensuite, le dernier modèle que nous proposons est similaire au premier, mais l'horizon de temps considéré est continu.

Finalement, différentes simulations ont été effectuées permettant, d'une part, de démontrer l'efficacité des différents modèles proposés et d'autre part, de comparer les performances des modèles les uns par rapport aux autres pour décider lequel adopter pour l'élaboration des programmes opératoires hebdomadaires du bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax.

2.2 Ordonnancement des opérations électives

Nous présentons dans ce paragraphe une description du problème d'ordonnancement que nous considérons ainsi qu'un modèle mathématique permettant de le résoudre d'une façon optimale. Pour faire face à sa complexité, nous proposons en plus de ce modèle, une heuristique constructive. A travers différentes expérimentations, nous avons comparé les deux outils et prouvé la performance de l'heuristique proposée.

2.2.1 Description du problème

Dans un premier temps, nous avons proposé un programme linéaire en nombres entiers permettant de résoudre simultanément le problème de planification et d'ordonnancement des interventions. La première formulation proposée est basée sur la discrétisation du temps. Elle permet d'obtenir la date de début de chacune des opérations à placer ainsi que sa salle opératoire. La fonction objectif permet de maximiser l'occupation des différentes salles opératoires, tout en respectant leur durée d'ouverture ainsi que la disponibilité des chirurgiens. Le choix de cette fonction objectif s'explique par le fait que, maximiser le taux d'occupation des salles opératoires, permet d'augmenter les revenus de l'établissement hospitalier et de diminuer les temps d'attentes pour les patients électifs en attente d'opération.

Les salles opératoires considérées sont multidisciplinaires. Par ailleurs, nous supposons que, lorsqu'une spécialité est affectée à une salle opératoire pendant une journée, il n'est pas possible d'affecter une intervention ayant une autre spécialité dans cette salle pendant la même journée. Par contre, d'un jour à un autre, la salle pourra accueillir différentes spécialités. La durée d'ouverture des salles opératoires est la même pour toutes les salles et pendant tout l'horizon de planification.

Les hypothèses suivantes ont été considérées :

- Toutes les ressources humaines (sauf les chirurgiens) et matérielles (sauf les salles opératoires au-delà des durées d'ouverture régulières) sont disponibles pour les demandes.
- Toutes les salles opératoires ouvrent simultanément.
- Les opérations urgentes ne sont pas considérées.
- La préemption n'est pas autorisée, une intervention en cours ne pourra pas être interrompue.
- Les durées de préparation et de nettoyage des salles opératoires sont incluses dans les durées opératoires estimées.
- Aucun chirurgien ne peut réserver de plage opératoire pour son propre usage préalablement.
- Tous les patients sont prêts à être opérés.
- Les heures supplémentaires ne sont pas autorisées.

Le modèle mathématique que nous proposons permet de résoudre simultanément les deux sous problèmes *Advanced scheduling* et *Allocation scheduling*. Nous prenons en considération la disponibilité horaire des chirurgiens et nous respectons la capacité des salles opératoires.

2.2.2 Modèle mathématique

Dans cette partie, nous allons décrire le modèle proposé en précisant les paramètres, données, variables, objectifs et contraintes.

Paramètres

- no : nombre d'opérations électives
- nc : nombre de chirurgiens
- ns : nombre de salles opératoires
- nj : nombre de jours considérés pour l'ordonnancement
- nsp : nombre de spécialités
- npj : nombre de périodes disponibles par jour et par salle opératoire
- $O = \{1 \dots no\}$: ensemble des opérations à effectuer
- $C = \{1 \dots nc\}$: ensemble des chirurgiens
- $S = \{1 \dots ns\}$: ensemble des salles opératoires
- $SP = \{1 \dots nsp\}$: ensemble des spécialités
- $J = \{1 \dots nj\}$: ensemble des jours

- $T = \{1 \dots npj\}$: ensemble des périodes disponibles par jour et par salle

Données

- D_o : durée de l'opération o
- OC_o : chirurgien affecté à l'opération o
- OSP_o : spécialité de l'opération o
- AS_{cjt} : disponibilité du chirurgien c , le jour j pendant la période t ,

$$AS_{cjt} = \begin{cases} 1 & \text{Si le chirurgien } c \text{ est disponible le jour } j \text{ au début de la période } t \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

Variables de décision

Deux variables de décision sont utilisées dans ce modèle.

La première, x_{ojst} , permet de définir la période, le jour et la salle où débute une opération.

$$x_{ojst} = \begin{cases} 1 & \text{Si l'opération } o \text{ est affectée le jour } j, \text{ dans la salle } s, \text{ au début de la période } t \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

$"o \in O, "j \in J, "s \in S, "t \in T$

La seconde donne la spécialité affectée à une salle chaque jour.

$$y_{spjs} = \begin{cases} 1 & \text{Si la spécialité } sp \text{ est affectée le jour } j \text{ à la salle opératoire } s \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

$"sp \in SP, "j \in J, "s \in S$

Fonction objectif

$$\text{Maximiser } \sum_{o \in O} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} (x_{ojst} \cdot D_o) + \sum_{sp \in SP} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} ((nj - j + 1) \cdot (npj - t + 1) x_{ojst}) \quad (2.1)$$

Contraintes

$$x_{ojst} \cdot D_o \leq \sum_{t'=t}^{\text{Min}(t+D_o-1, npj)} AS_{OC_o jt'}, "o \in O, "j \in J, "s \in S, "t \in T \quad (2.2)$$

$$\sum_{\substack{o' \in O \\ OC_o = OC_{o'}}} \sum_{\substack{s' \in S \\ s = s'}} \sum_{t'=t}^{\text{Min}(t+D_o-1, npj)} x_{o' js' t'} \leq D_o \cdot (1 - x_{ojst}), "o \in O, "j \in J, "s \in S, "t \in T \quad (2.3)$$

$$\sum_{sp \in SP} y_{spjs} \leq 1, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ojst} \leq 1, \forall o \in O \quad (2.5)$$

$$\sum_{o \in O} x_{ojst} \leq 1, \forall j \in J, \forall s \in S, \forall t \in T \quad (2.6)$$

$$\sum_{o \in O} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ojst} \leq \min(t + D_o - 1, npj) \quad (2.7)$$

$$\sum_{t \in T} x_{ojst} \leq y_{OSP_{0js}}, \forall o \in O, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (2.8)$$

$$x_{ojst} \in \{0,1\}, \forall o \in O, \forall j \in J, \forall s \in S, \forall t \in T \quad (2.9)$$

$$y_{spjs} \in \{0,1\}, \forall sp \in SP, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (2.10)$$

Explication des contraintes

La fonction objectif (2.1) comporte deux parties. La première partie concerne la maximisation de l'occupation des salles opératoires. La deuxième partie de la fonction permet aux opérations d'être planifiées au plus tôt (en termes de périodes et également en termes de jours). Nous illustrons l'utilité de la deuxième partie de notre fonction objectif à travers un exemple (Figure 2.1). Nous considérons une seule salle opératoire dont la durée d'ouverture est de quatre périodes et une seule opération de durée deux périodes est à affecter. Le chirurgien effectuant l'opération est disponible pendant les quatre périodes. Deux solutions sont présentées. En termes de taux d'occupation, les deux solutions sont équivalentes. Mais en ajoutant la deuxième partie de la fonction objectif, l'opération est affectée à la première période, ce qui libère les périodes en fin de journée et offre, par conséquent, plus de flexibilité pour le responsable du bloc en cas d'aléas.

Solution 1		OP	
Solution 2	OP		

Figure 2.1 Illustration de l'utilité du deuxième terme de la fonction objectif

La contrainte (2.2) permet de s'assurer de la disponibilité des chirurgiens pendant toute la durée de l'opération.

La contrainte (2.3) permet d'éviter le chevauchement entre les opérations d'un même chirurgien dans une même salle opératoire pendant une même journée.

La contrainte (2.4) affecte une seule spécialité à une salle pendant une journée donnée.

La contrainte (2.5) permet d'affecter chaque opération une seule fois.

La contrainte (2.6) évite que plusieurs opérations soient affectées à une même période.

La contrainte (2.7) permet d'éviter le chevauchement entre les opérations, dans une même salle quel que soit le jour.

La contrainte (2.8) fait le lien entre les variables de décision.

Les contraintes (2.9) et (2.10) définissent les variables de décision comme binaires.

2.2.3 Heuristique

Les problèmes d'ordonnancement et de planification sont reconnus comme étant complexes et difficiles à résoudre. Leur résolution donne généralement lieu à une explosion combinatoire, engendrant des temps de recherche d'une solution optimale trop longs (exprimés en heures ou même en jours, détails présentés ultérieurement dans les résultats des expérimentations Tableau 2.2). Par conséquent, vue la complexité du modèle mathématique donné précédemment, nous proposons une approche heuristique dans la perspective de résoudre des problèmes de tailles réalistes.

Celle-ci permet de construire un planning de façon séquentielle en se basant sur une décomposition temporelle de jour en jour. Elle construit pour chacun des jours de l'horizon de planification considéré, l'ordonnancement des opérations à planifier, en faisant, à chacune des itérations, appel au modèle mathématique ci-dessus.

L'approche que nous avons adoptée est schématisée sur la Figure 2.2. L'ensemble A_0 réunit les opérations à programmer sur l'horizon de planification considéré (n_j). Pour le premier jour, le modèle mathématique est résolu. Ensuite l'ensemble A_0 est mis à jour en éliminant les opérations planifiées le premier jour. Puis on résout le problème mathématique pour le deuxième jour en considérant les opérations de A_0 , c'est à dire les opérations non encore planifiées. Ces étapes sont répétées jusqu'à atteindre le dernier jour de l'horizon de planification.

2.2.4 Expérimentation

Afin d'évaluer la performance ainsi que les limites du modèle proposé, nous avons généré aléatoirement 50 instances de chacune des tailles de problème testées. Les tailles générées sont divisées en quatre ensembles. Chacun de ces ensembles est partagé lui-même en quatre sous-ensembles. Ces derniers ont en commun l'horizon de planification (nombre de jours n_j) et le nombre d'opérations à planifier no . Le nombre de chirurgiens nc ainsi que le nombre de spécialités considérées nsp changent d'un sous ensemble à l'autre.

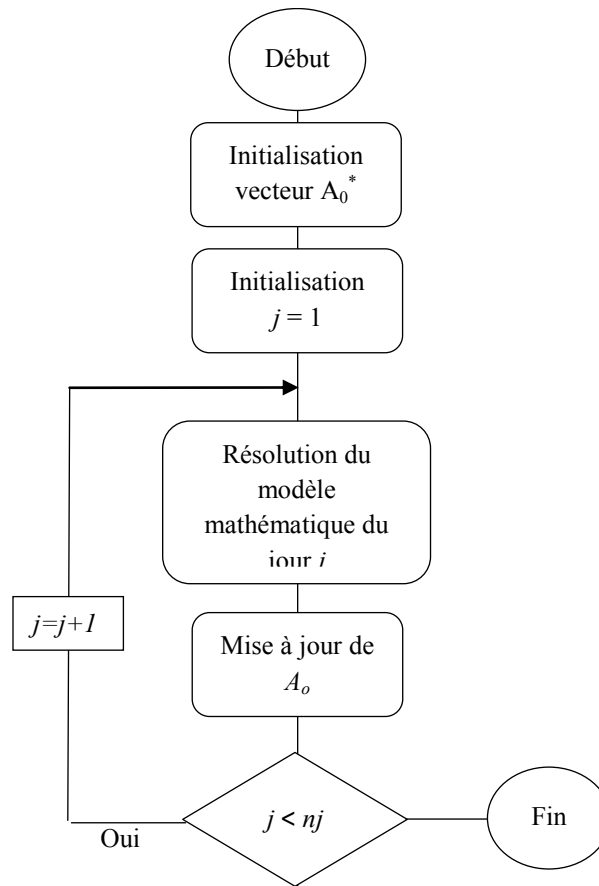


Figure 2.2 Heuristique proposée pour l'ordonnancement des opérations électives

Les tailles des problèmes ainsi que le nombre de contraintes et variables correspondants sont présentées dans le Tableau 2.1. Nous considérons, pour les expérimentations présentées, le cas d'un bloc opératoire composé de 4 salles opératoires disponibles simultanément pendant 10 périodes par jour. Le nombre de chirurgiens nc vaut 10 ou 12. Nous faisons également varier le nombre de spécialités auxquelles appartiennent les opérations à planifier ($nsp = \{4, 6\}$).

La disponibilité des chirurgiens est générée aléatoirement. En premier lieu, nous générons le nombre de jours pendant lesquels chaque chirurgien devra être présent au sein du bloc opératoire. Par ailleurs, nous imposons que chaque chirurgien soit présent au minimum pendant une journée sur l'intervalle de planification. En deuxième lieu, nous générons, pour leurs journées de travail, le nombre de périodes à travailler par jour. Nous imposons que le chirurgien soit présent au moins pendant une demi-journée.

Tableau 2.1 Tailles des problèmes testés

Ensemble	N	nj	no	nc	nsp	Nombre de contraintes	Nombre de variables
1	1	2	50	10	4	8538	4032
	2				6	8538	4048
	3			12	4	8538	4032
	4				6	8458	4048
2	5	3	60	10	4	15312	7248
	6				6	15312	7272
	7			12	4	15312	7248
	8				6	15192	7272
3	9	4	80	10	4	27136	12864
	10				6	27136	12896
	11			12	4	27136	12864
	12				6	27136	12864
4	13	5	90	10	4	38110	18080
	14				6	38110	18120
	15			12	4	38110	18080
	16				6	38110	18120

Rappelons que la fonction objectif (2.1) est la somme de deux parties pondérées. La première vise à maximiser le taux d'occupation et la deuxième à affecter les opérations au plus tôt en termes de périodes et de jours. L'objectif principal du modèle proposé est de maximiser le taux d'occupation des salles opératoires, par conséquent son poids doit être plus important. Après plusieurs expérimentations, nous avons retenu les paramètres qui satisfont le mieux nos objectifs : $\alpha = 1$ et $\beta = 0.1$.

Le modèle mathématique et l'heuristique proposés ont été implémentés dans le logiciel Xpress-MP, et ont été testés sur un PC Core i7 CPU 2.6GHz. Nous avons généré 50 instances pour chacune des 16 tailles de problèmes que nous avons étudiées. Ainsi, 800 problèmes différents ont été testés pour évaluer les outils proposés.

Nous comparons les résultats du modèle mathématique et de l'heuristique pour les ensembles de problèmes 1 et 2 dans le Tableau 2.2. Les critères de comparaison sont le taux d'occupation moyen et le temps d'exécution moyen, notés respectivement TO et TE . Nous avons également calculé la différence (Gap) entre le taux d'occupation obtenu avec la méthode exacte et celui obtenu avec l'approche heuristique afin d'évaluer la qualité des solutions obtenues et mettre en évidence la performance de l'approche heuristique.

Tableau 2.2 Résultats numériques des deux approches de résolution proposées

Ensemble	N	Méthode exacte		Méthode heuristique		Gap (%)
		TO (%)	$TE(s)$	TO (%)	$TE(s)$	
1	1	82.45%	448	81.75%	24	0.70%
	2	79.47%	405	78.47%	22	1.00%
	3	85.54%	418	84.09%	22	1.45%
	4	82%	335	81.72%	20	0.28%
2	5	79.41%	10859	77.60%	61	1.81%
	6	76.87%	8160	76%	33	0.87%
	7	82.75%	5380	81.13%	45	1.62%
	8	80.66%	4864	78.88%	43	1.78%

Nous pouvons constater que l'écart entre le taux d'occupation optimal (méthode exacte) et celui obtenu en utilisant l'heuristique proposée ne dépasse pas 1,81%, ce qui révèle la performance de l'approche heuristique que nous proposons. Comme prévu, la méthode exacte ne peut pas fournir une solution optimale dans un délai raisonnable. En comparant les temps d'exécution, pour le sous-problème 5, la méthode exacte nous fournit une solution après 3 heures en moyenne, alors que pour la même taille, en utilisant l'heuristique, nous avons obtenu un résultat en 61 secondes. Nous pouvons également remarquer que les taux d'occupation obtenus avec l'heuristique varient entre 76 et 81,75%. Ils respectent donc les exigences de la MEAH⁶ et de l'ANAP⁷ (un taux d'occupation de 75%). Toutes ces observations nous mènent à conclure que l'approche heuristique est susceptible de fournir des solutions quasi optimales dans un temps d'exécution raisonnable (ne dépassant pas quelques minutes).

Pour les problèmes que nous avons réussi à résoudre avec la méthode exacte, nous remarquons, comme attendu, que les temps d'exécution augmentent avec la taille du problème. Par conséquent, pour les problèmes de plus grandes tailles (ensembles 3 et 4) nous avons adopté l'approche heuristique, dont les résultats sont présentés dans le Tableau 2.3.

Les résultats obtenus pour les ensembles 3 et 4 (correspondant respectivement aux intervalles de planification n_j de 4 et 5 jours) soulignent l'efficacité de l'heuristique proposée. Pour tous les problèmes, les résultats sont obtenus en quelques minutes et donnent des taux d'occupation satisfaisants, variant entre 75 et 85%.

⁶ MEAH : La Mission nationale d'Expertise et d'Audit Hospitalier. Rattachée au Ministère de la santé (DGOS), elle aide les établissements de santé publics et privés à améliorer leur organisation. Elle est financée par le Fonds de Modernisation des Etablissements de Santé Public et Privés (FMESPP).

⁷ ANAP : Agence Nationale d'Appui à la Performance des établissements de santé et médico-sociaux. C'est un groupement d'intérêt public français chargé d'aider les établissements à améliorer leurs services par le biais d'outils et de recommandations.

Tableau 2.3 Résultats de l'approche heuristique sur les ensembles 3 et 4

Ensemble	N	TO (%)	$TE(s)$
3	9	77%	726
	10	75%	143
	11	81.19%	462
	12	79.56%	148
4	13	76.89%	934
	14	78.50%	474
	15	79.52%	588
	16	77.79%	322

Comme nous l'avons expliqué, la fonction objectif du modèle comporte deux parties pondérées, et les résultats présentés dans le Tableau 2.2 et 2.3 ont été obtenus avec les valeurs suivantes : $\alpha=1$ et $\beta=0,1$. Nous présentons sur la Figure 2.3 les taux d'occupation journaliers respectifs des problèmes de l'ensemble 4 (de 13 à 16). Nous constatons que le taux d'occupation des salles opératoires décroît de jour en jour pour chacun des programmes opératoires hebdomadaires représentés. Il est important de mentionner que comme souhaité, les opérations sont programmées au plus tôt, non seulement en termes de jour, mais également en termes de périodes. Un taux d'occupation décroissant (de jour en jour) fournit donc aux gestionnaires du bloc plus de flexibilité pour gérer les imprévus et les aléas auxquels ils sont confrontés (arrivée d'urgences, durées opératoires plus longues que prévu).

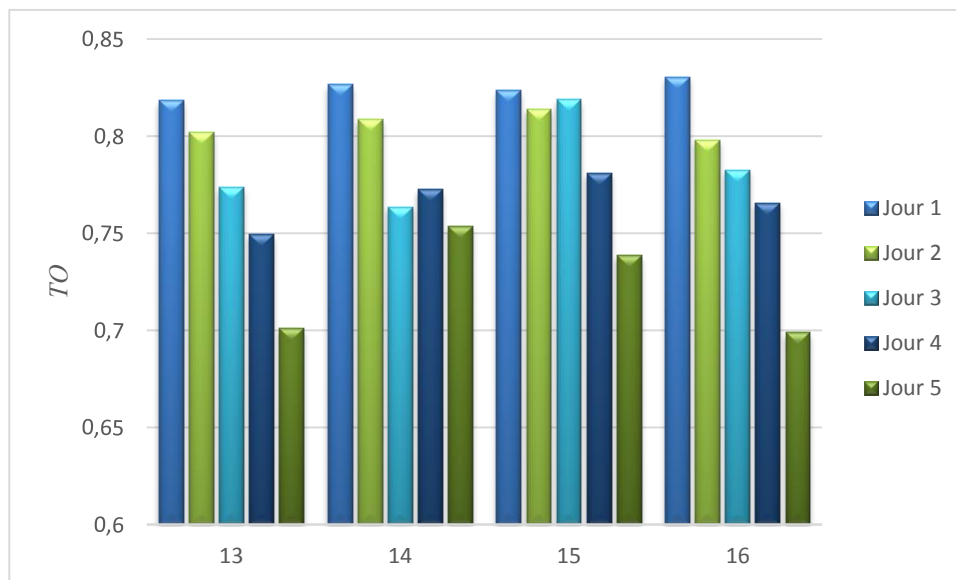


Figure 2.3 Taux d'occupation journalier des programmes opératoires hebdomadaires pour les sous problèmes de l'ensemble 4

Remarquons que pour les problèmes de type 14, le taux d'occupation moyen de la 3^{ème} journée est inférieur à celui de la 4^{ème} journée. De même pour le problème de type 15, entre la 2^{ème} et la 3^{ème} journée. Cela peut être expliqué par le fait que, dans certains cas, la planification d'une opération plus tôt n'est pas possible à cause de certaines contraintes (disponibilité du chirurgien, par exemple).

Dans certains cas, toutes les opérations ne sont pas planifiées alors que le taux d'occupation n'est pas maximal. Nous avons essayé de comprendre les raisons pour lesquelles une opération n'est pas planifiée. En analysant les résultats, nous avons constaté qu'une opération non programmée est la conséquence d'une des quatre raisons suivantes :

- Nous avons considéré un bloc opératoire dont les salles opératoires sont multifonctionnelles. Elles peuvent accueillir différentes spécialités d'un jour à un autre. Par contre, pendant une même journée, il n'est pas possible d'affecter une opération d'une spécialité différente que celle déjà attribuée à la salle. Dans certains cas, l'une des disciplines chirurgicales n'est pas affectée pendant l'intervalle de planification. Par conséquent, les opérations appartenant à cette spécialité ne pourront pas être affectées. Nous noterons cette cause : *PSMSP*.
- Dans d'autres cas, il existe une salle opératoire de même spécialité que l'opération non affectée, mais elle est déjà occupée pendant la durée d'ouverture régulière. Comme les opérations ne peuvent être réalisées que durant les heures régulières d'ouverture du bloc, l'opération ne se sera pas affectée. Nous noterons cette raison : *SMSOQ*.
- Il arrive que le chirurgien devant effectuer l'opération non affectée soit occupé durant tout l'intervalle de planification, et qu'il ne dispose plus d'assez de périodes disponibles pour effectuer l'opération. Nous noterons cette raison : *CHIROQ*.
- Dans certains cas, il existe assez de périodes inoccupées dans une salle de même spécialité. Le chirurgien effectuant l'opération non affectée possède également assez de périodes libres pour réaliser l'acte chirurgical. Cependant, il est possible que ces périodes ne coïncident pas dans le temps et empêchent ainsi de planifier une opération. Nous illustrons ce cas avec la Figure 2.4. Nous noterons ce cas *CHIRIND*.

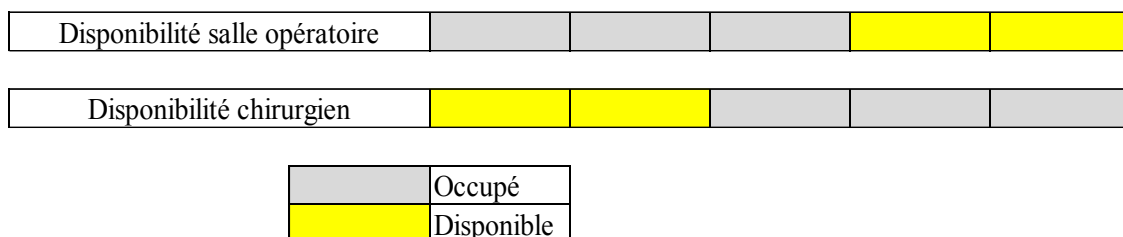


Figure 2.4 Explication de la quatrième raison de non affectation d'une opération dans un programme opératoire

Tableau 2.4 Pourcentages et raisons pour lesquelles des opérations sont non planifiées

	Ensemble 1	Ensemble 2	Ensemble 3	Ensemble 4
<i>No</i>	50	60	80	90
<i>Nj</i>	2	3	4	5
Opérations non programmées (%)	51.81	42.82	42.27	37.79
PSMSP	12.18	5.31	3.21	2.58
SMSOQ	23.43	20.4	18.44	14.49
CHIROQ	40.76	37.49	33.55	30.13
CHIRIND	23.64	36.8	44.8	52.79

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente le pourcentage moyen d'opérations non programmées pour chacun des ensembles de problèmes traités. On peut vérifier que plus le nombre de jours disponibles pour planifier les opérations augmente, plus le taux d'opérations non programmées, est faible. Le nombre moyen d'opérations par jour diminue au fil de ces 4 exemples. Les quatre dernières lignes du tableau donnent la répartition en pourcentage des causes de non affectation des opérations. La Figure 2.5 représente graphiquement cette répartition, et consolide l'hypothèse que les chirurgiens représentent un goulot d'étranglement. En effet, pour tous les problèmes résolus, le plus grand pourcentage d'opérations non affectées est dû à l'indisponibilité de chirurgiens ou à des contraintes de chevauchement. De plus, ces contraintes augmentent au fur et à mesure de l'augmentation de la taille du problème (de 65% sur 2 jours à 83% sur 5 jours).

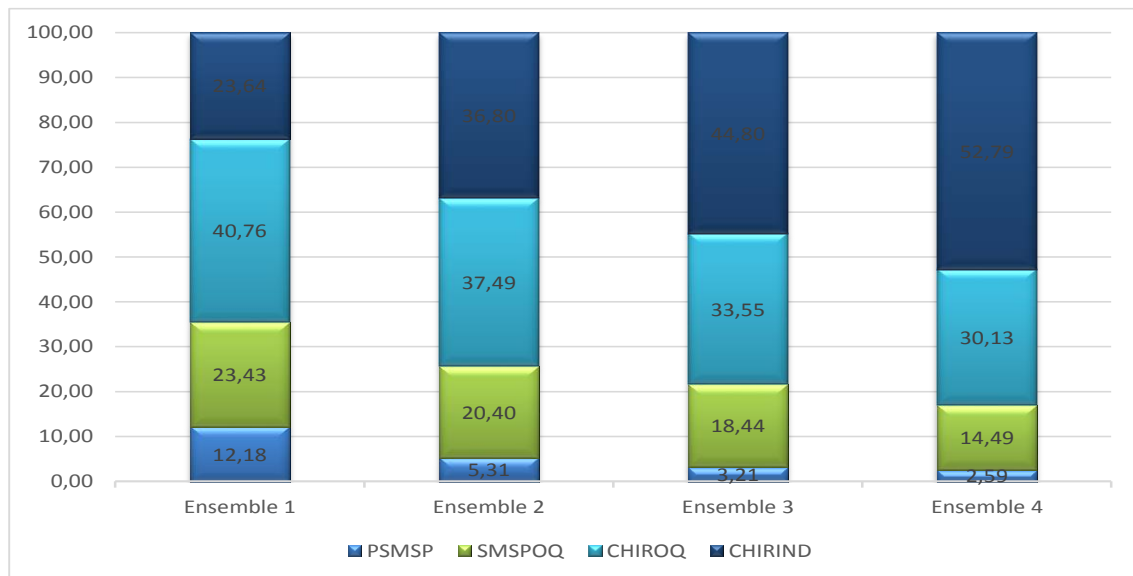


Figure 2.5 Pourcentages et raisons de la non programmation d'opérations

2.3 Modèle en temps continu pour l'ordonnancement des opérations électives

Nous proposons, dans ce paragraphe, un autre outil permettant d'établir un programme opératoire. Le premier modèle présenté dans le paragraphe 2.2.2 est basé sur la discrétisation du temps. Nous avons voulu étudier, la performance d'un modèle avec un horizon de temps continu et le comparer avec le modèle précédent avec un horizon de temps discrétisé.

Le modèle à horizon continu proposé vise à optimiser les mêmes critères : maximiser l'occupation des salles opératoires et minimiser les intervalles inoccupés entre les opérations. Nous conservons également les hypothèses définies dans la section 2.2.1. La différence majeure entre les deux modèles concerne la disponibilité des chirurgiens. En effet, pour le modèle discrétisé, la disponibilité de chaque chirurgien est exprimée par période et par jour. Pour ce modèle, nous définissons la disponibilité des chirurgiens par jour. Nous présentons, dans ce qui suit les détails du modèle proposé. La comparaison avec le modèle discrétisé sera exposée dans la section 2.4.3.

Paramètres

- No : nombre d'opérations électives
- Nc : nombre de chirurgiens
- Ns : nombre de salles opératoires
- Nj : nombre de jours
- Nsp : nombre de spécialités
- $O = \{1 \dots No\}$: ensemble des opérations à effectuer
- $C = \{1 \dots nc\}$: ensemble des chirurgiens
- $S = \{1 \dots ns\}$: ensemble des salles opératoires
- $SP = \{1 \dots nsp\}$: ensemble des spécialités
- $J = \{1 \dots nj\}$: ensemble des jours sur lesquels on réalise l'ordonnancement
- H : Constante suffisamment grande

Données

- Do : durée de l'opération o
- OC_o : chirurgien affecté à l'opération o
- OSP_o : spécialité de l'opération o
- T : durée d'ouverture régulière des salles opératoires
- DC_{cj} : disponibilité du chirurgien c , le jour j

$$DC_{cj} = \begin{cases} 1 & \text{Si le chirurgien } c \text{ est disponible le jour } j \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

Variables de décision

Les variables de décision du modèle nous permettent de définir l'ordre de passage des opérations dans les salles opératoires.

- S_o , permet de définir la date de début de l'opération o .
- $Jour_{ojs}$ définit le jour j et la salle s où l'opération o a été affectée.

$$Jour_{ojs} = \begin{cases} 1 & \text{Si l'opération } o \text{ est affectée le jour } j \text{ à la salle } s \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- $U_{oo'js}$ nous indique si deux opérations o et o' sont affectées durant le même jour j dans la même salle s .

$$U_{oo'js} = \begin{cases} 1 & \text{Si l'opération } o \text{ et l'opération } o' \text{ sont affectées le jour } j \text{ dans la salle } s \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- SPS_{spjs} définit la spécialité sp affectée à une salle s le jour j .

$$SP_{spjs} = \begin{cases} 1 & \text{Si la spécialité } sp \text{ est affectée le jour } j \text{ dans la salle } s \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- $C_{oo'js}$ permet de représenter le lien de précédence entre deux opérations o et o' (pas nécessairement immédiatement) durant le jour j dans la salle s .

$$C_{oo'js} = \begin{cases} 1 & \text{Si l'opération } o \text{ précède l'opération } o' \text{ le jour } j \text{ à la salle } s \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- $CHV_{oo'js}$ est défini pour éviter d'affecter un chirurgien effectuant deux opérations o et o' dans deux salles opératoires différentes en même temps.

$$CHV_{oo'js} = \begin{cases} 1 & \text{Si les opérations } o \text{ et } o' \text{ sont effectuées le même jour } j \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad \forall o, o' \in O \mid OC_o = OC_{o'}$$

Fonction objectif

$$\text{Maximiser } \sum_{o \in O} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} (D_o \cdot Jour_{ojs}) - a \cdot \sum_{o \in O} S_o \quad (2.11)$$

Contraintes

$$Jour_{ojs} \leq SPS_{ojs} \cdot DC_{OC_oj}, \quad \forall o \in O, j \in J, s \in S \quad (2.12)$$

$$S_o + H \cdot (1 - C_{oo'js})^3 S_o + D_o, \quad \forall o \in O, o' \in O \mid o' \neq o, j \in J, s \in S \quad (2.13)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} Jour_{ojs} \leq 1, \quad \forall o \in O \quad (2.14)$$

$$\sum_{l \in SP} SPS_{ljs} \leq 1, \quad \forall j \in J, s \in S \quad (2.15)$$

$$C_{oo'js} + C_{o'ojs} = U_{oo'js}, \quad \forall o \in O, o' \in O \mid o' \neq o, j \in J, s \in S \quad (2.16)$$

$$2 \cdot U_{oo'js} \leq Jour_{ojs} + Jour_{o'ojs} \leq 2 \cdot U_{oo'js} + 1, \quad \forall o \in O, o' \in O \mid o' \neq o, j \in J, s \in S \quad (2.17)$$

$$U_{oo'js} = U_{o'ojs}, \quad \forall o \in O, o' \in O \mid o' \neq o, j \in J, s \in S \quad (2.18)$$

$$S_o + H \cdot (1 - CHV_{oo'j})^3 S_o + D_o, \quad \forall o \in O, o' \in O \mid (o' \neq o) \text{ et } (OC_o = OC_{o'}), j \in J \quad (2.19)$$

$$(CHV_{oo'j} + CHV_{o'o'j}) \leq \min \left(\sum_{s=1}^{NS} Jour_{ojs}, \sum_{s=1}^{NS} Jour_{o'ojs} \right), \quad (2.20)$$

$$\forall o \in O, o' \in O \mid (o' \neq o) \text{ et } (OC_o = OC_{o'}), j \in J$$

$$CHV_{oo'j} + CHV_{o'o'j} \leq \sum_{s \in S} (Jour_{ojs} + Jour_{o'ojs}) - 1, \quad (2.21)$$

$$\forall o \in O, o' \in O \mid (o' \neq o) \text{ et } (OC_o = OC_{o'}), j \in J$$

$$S_o + D_o \leq T \sum_{s \in S} Jour_{ojs} + \left(1 - \sum_{s \in S} Jour_{ojs} \right) D_o, \quad \forall o \in O, j \in J \quad (2.22)$$

$$Jour_{ojs} \in \{0,1\}, \forall o \in O, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (2.23)$$

$$C_{oo'js} \in \{0,1\}, \forall o \in O, \forall o' \in O, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (2.24)$$

$$U_{oo'js} \in \{0,1\}, \forall o \in O, \forall o' \in O, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (2.25)$$

$$SPS_{ljs} \in \{0,1\}, \forall l \in SP, \forall j \in J, \forall s \in S \quad (2.26)$$

$$CHV_{oo'j} \in \{0,1\}, \forall o \in O, \forall o' \in O, \forall j \in J \quad (2.27)$$

Explication des contraintes

La fonction objectif de notre modèle (2.11) est similaire à la fonction objectif du modèle initial (2.1). La première partie de la fonction proposée vise à maximiser l'occupation des salles opératoires. La deuxième partie a pour but de programmer les opérations au plus tôt.

La majorité des contraintes du modèle continu s'expriment de façon similaire au modèle initial. Nous retrouvons la contrainte relative au respect des spécialités affectées aux salles opératoires, ainsi que celle imposant le respect de la disponibilité des chirurgiens. Ces deux contraintes sont exprimées à travers l'équation (2.12).

La contrainte (2.13) impose que la date de début d'une opération o' , succédant à une opération o , soit supérieure à la date de fin de o .

La contrainte (2.14) garantit que chaque opération peut être affectée au maximum à une seule salle opératoire et une seule journée.

Pour ce modèle, nous considérons également la contrainte relative à l'affectation des spécialités dans les salles opératoires. L'équation (2.15) stipule que pendant une journée donnée, une salle opératoire ne peut accueillir qu'une seule spécialité.

La contrainte (2.16) indique que lorsque deux opérations o et o' sont affectées à une même salle pendant une journée, alors soit o précède o' , soit o' précède o .

Les équations (2.17) et (2.18) définissent que si les opérations o et o' sont affectées à la même salle le même jour ($U_{oo'js} = U_{o'ojs} = 1$), alors les variables correspondantes aux jours respectifs des opérations sont cohérentes ($Jour_{ojs} = Jour_{o'ojs} = 1$).

L'ensemble des contraintes (2.19), (2.20) et (2.21) sont définies afin d'éviter qu'un chirurgien ne soit présent en même temps dans deux salles différentes.

Nous n'autorisons pas le dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire. L'équation (2.22) interdit l'utilisation des heures supplémentaires et oblige au respect de l'intervalle de planification T .

Les équations (2.23) à (2.27) indiquent que les variables de décisions *Jour*, *C*, *U*, *SPS*, et *CHV* sont binaires.

Ce modèle continu a été comparé au modèle discrétisé sur des données issues de cas concrets de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines. Ces résultats sont donnés dans la partie suivante.

2.4 Cas de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une collaboration avec l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines. Dans ce cadre, nous donnons une brève description du fonctionnement de son bloc opératoire. Nous comparons ensuite les deux modèles (à horizon discrétisé et continu) afin de choisir le mieux adapté pour l'élaboration du programme opératoire hebdomadaire. Les données utilisées, pour la comparaison ainsi que pour l'élaboration des programmes opératoires hebdomadaires sont générées en utilisant un historique issu du bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax.

2.4.1 Fonctionnement du bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines

Le bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines est composé de 6 salles opératoires, dont 4 salles sont multifonctionnelles (pouvant accueillir différentes spécialités). Les spécialités chirurgicales présentes au sein de ce bloc opératoire sont : urologie, ORL, ophtalmologie, gynécologie, général et digestif, orthopédie et traumatologie, chirurgie de la main, stomatologie, cardiologie et endoscopie. Le bloc opératoire est ouvert du lundi au vendredi, de 8 heures à 15 heures (soit 7 heures de travail par jour).

Les programmes opératoires sont établis par le responsable du bloc opératoire après avoir recueilli les demandes de la part des chirurgiens appartenant aux différentes disciplines chirurgicales. La stratégie adoptée au sein du bloc pour l'élaboration du programme opératoire est la stratégie *block scheduling*. Les opérations électives en attente de programmation sont affectées en respectant le plan directeur d'allocation (Figure 2.6) qui donne les créneaux réservés dans chaque salle et chaque jour de la semaine pour chaque spécialité. Nous disposons également des programmes opératoires réalisés au sein du bloc opératoire Robert Pax sur une période de neuf semaines, du 3 mars 2014 au 4 mai 2014.

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Salle 1	ORL	Ophtalmologie	Chirurgie main	Ophtalmologie	Chirurgie main
					Ophtalmologie
Salle 2	Génycologie	Génycologie	Génycologie	Génycologie	Génycologie
	Génycologie		Stomatologie	Digestif	Stomatologie
Salle 3	Urologie	Urologie	Urologie	Urologie	Urologie
		Urologie		Urologie	
Salle 4	Digestif	Digestif	Digestif	Gynécologie	Digestif
				Digestif	
				Endoscopie	
Salle 5	Stomatologie	Digestif	Digestif	Stomatologie	Digestif
	Urologie		Cardiologie	Chirurgie main	
				Urologie	
Salle 6	Traumatologie	Traumatologie	Traumatologie	Traumatologie	Traumatologie
Salle 7 endoscopie	Endoscopie	Endoscopie	Endoscopie	Endoscopie	Endoscopie
		Endoscopie	Endoscopie		
		Endoscopie			

Figure 2.6 Plan directeur d'allocation du bloc opératoire Robert Pax

Comme énoncé dans les travaux de (Jebali, 2004) la stratégie *block scheduling* présente certains inconvénients et le bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax, dans lequel cette stratégie est adoptée, n'échappe pas à la règle. En observant les données recueillies, nous avons pu constater certaines irrégularités, dont voici certains exemples :

- Certains chirurgiens n'exploitent pas entièrement les plages horaires qui leurs sont allouées alors que d'autres dépassent les temps qui leur sont alloués.
- Les dépassements des plages horaires par certains chirurgiens engendrent, dans certains cas des heures supplémentaires et, dans d'autres cas des démarrages tardifs pour les

créneaux postérieurs alloués à d'autres chirurgiens programmés dans la même salle pendant la même journée.

- Des temps entre interventions sont trop importants. En plus des temps de nettoyage, nous remarquons des intervalles inoccupés entre une opération et une autre. D'où une sous exploitation de la capacité disponible du bloc opératoire.
- Certaines plages horaires sont réservées à l'usage exclusif d'un chirurgien donné. Or, dans la pratique, cette exclusivité d'usage n'est pas respectée. Cela peut être expliqué par le fait que le responsable du bloc se retrouve face à un plan directeur rigide qui ne répond ni à ses besoins, ni au volume fluctuant des activités auquel il doit faire face.

Ces constatations nous ont amenés à explorer les avantages de la stratégie *open scheduling*. En effet, les auteurs de (Marcon et Kharraja, 2002) mentionnent que cette stratégie offre plus de flexibilité et s'adapte mieux à l'environnement incertain du bloc opératoire.

2.4.2 Génération des données basées sur les données réelles du bloc opératoire Robert Pax à Sarreguemines

Notre modèle initial est défini pour la planification et l'ordonnancement des opérations électives sans considérer celles effectuées en ambulatoire. Dans le cas du bloc opératoire Robert Pax, certaines spécialités sont effectuées totalement ou majoritairement en ambulatoire : ORL, ophtalmologie, stomatologie, endoscopie et gynécologie. Dans notre étude, nous ne considérons que les cinq autres spécialités suivantes : urologie, général et digestif, orthopédie et traumatologie, cardiologie et chirurgie main.

Le modèle que nous adoptons suppose également que les salles opératoires que nous exploitons pour l'affectation des opérations sont multifonctionnelles (pouvant accueillir différentes spécialités d'un jour à un autre). Ceci est le cas uniquement pour 4 salles opératoires de ce cas réel.

A partir des programmes opératoires recueillis, nous avons déduit la proportion de chaque spécialité sur l'ensemble total des opérations programmées pendant les neuf semaines. Nous avons également récupéré les durées opératoires pour les opérations des différentes spécialités. Les lois de distribution des durées opératoires communément adoptées sont les lois Normale (Dexter, 2000) et Log Normale (Strum et May, 1998) (Kharraja, 2003). Pour l'exemple que nous traitons, nous supposons que les durées opératoires suivent une distribution Normale. En utilisant le module XLSTAT de MS-Excel, nous avons pu déduire les paramètres de la distribution Normale (moyenne et écart type) pour les durées opératoires des spécialités considérées.

Pour ce qui concerne les durées de nettoyage entre une opération et la suivante, nous avons décidé de ne retenir que la valeur moyenne pour chaque discipline chirurgicale et de l'imposer entre chaque opération.

Les programmes opératoires nous ont également permis de déduire le nombre de chirurgiens moyen par spécialité intervenant au sein du bloc pendant une semaine. L'affectation du couple opération/chirurgien est aléatoire. Selon la spécialité de l'opération à effectuer, nous choisissons de façon aléatoire le chirurgien qui va l'effectuer (à partir de l'ensemble des chirurgiens intervenant dans la spécialité considérée).

Le travail que nous avons effectué sur les données représentant 9 semaines d'activité du bloc opératoire a donné les résultats que nous présentons dans le Tableau 2.5.

Nous générons la durée de chaque opération selon les paramètres de la loi de distribution Normale correspondant à sa spécialité (Tableau 2.5). Nous y ajoutons la durée moyenne de nettoyage relative également à sa spécialité. Comme le modèle que nous adoptons est discret, nous sommes alors amenés à convertir la somme de ces deux durées (exprimées en minutes) en un nombre de périodes correspondant.

Tableau 2.5 Récapitulation des données recueillies au bloc opératoire Robert Pax

Spécialité	Proportion (%)	Durée opératoire (min)		Durée moyenne de nettoyage (min)	Nombre de chirurgiens
		Paramètre de la distribution Normale			
		Moyenne	Ecart type		
Urologie	32,8%	69,088	38,555	17,45	5
Général et digestive	31,9%	96,358	50,076	16,73	5
Traumatologie et orthopédie	25,5%	76,109	3,03	22,83	2
Chirurgie de la main	7%	82,083	38,485	22,88	2
Cardiologie	2,9%	67,348	27,098	7,43	1

Au sujet de la disponibilité des chirurgiens, nous avons décidé de générer les données de la façon suivante. Nous imposons aux chirurgiens d'être présents au moins une journée pendant l'intervalle de planification. Pendant ses jours de travail, chaque chirurgien doit être disponible au moins pendant une demi-journée.

2.4.3 Comparaison du modèle discrétisé et du modèle continu pour l'ordonnancement des opérations électives

Pour l'élaboration du programme opératoire, nous avons proposé deux modèles mathématiques, avec horizon de planification discrétisé et continu. Afin de comparer les performances des deux modèles proposés, nous allons comparer leurs résultats pour une taille

similaire. Cette comparaison nous permettra de décider lequel de ces deux modèles nous allons adopter ultérieurement pour l'élaboration du programme opératoire hebdomadaire.

Nous considérons pour ces simulations quatre salles opératoires multifonctionnelles qui ouvrent simultanément pendant 7 heures de travail par jour.

Pour le modèle discrétisé, une journée est composée de 28 périodes. Chaque période correspond à 15 minutes. Par équivalence, l'intervalle de planification T , pour le modèle continu, est égal à 28. Les heures supplémentaires ne sont pas autorisées. Nous avons considéré pour ces simulations, un intervalle de planification d'une seule journée (Nombre de jour : $n_j=1$).

La disponibilité des chirurgiens avec le modèle discrétisé est représentée par période (disponibilité du chirurgien par période et par jour). Alors que pour le modèle à temps continu, cette disponibilité est représentée par jour (disponibilité du chirurgien par jour). Cette différence entre les deux modèles nous a amené à considérer que les chirurgiens sont disponibles pendant toute la journée, car nous ne pouvons pas représenter son indisponibilité pendant une partie de la journée avec le modèle à horizon continu.

Nous avons généré 50 instances pour tester et évaluer la performance des deux modèles. Chaque instance comprend 30 opérations électives en attente de programmation. La composition des opérations respecte les proportions définies pour les données réelles résumées dans le Tableau 2.5. Les simulations ont été effectuées avec le logiciel Xpress-MP, implémenté sur un PC Core i7 CPU 2.6GHz.

La première constatation que nous avons déduite est que les taux d'occupation obtenus pour les 50 problèmes exécutés sont bien les mêmes pour les deux modèles. Nous avons obtenu un taux d'occupation moyen de 99,71%. Un taux d'occupation avoisinant les 100% s'explique par le fait que nous avons considéré que tous les chirurgiens sont disponibles pendant tout l'horizon de planification.

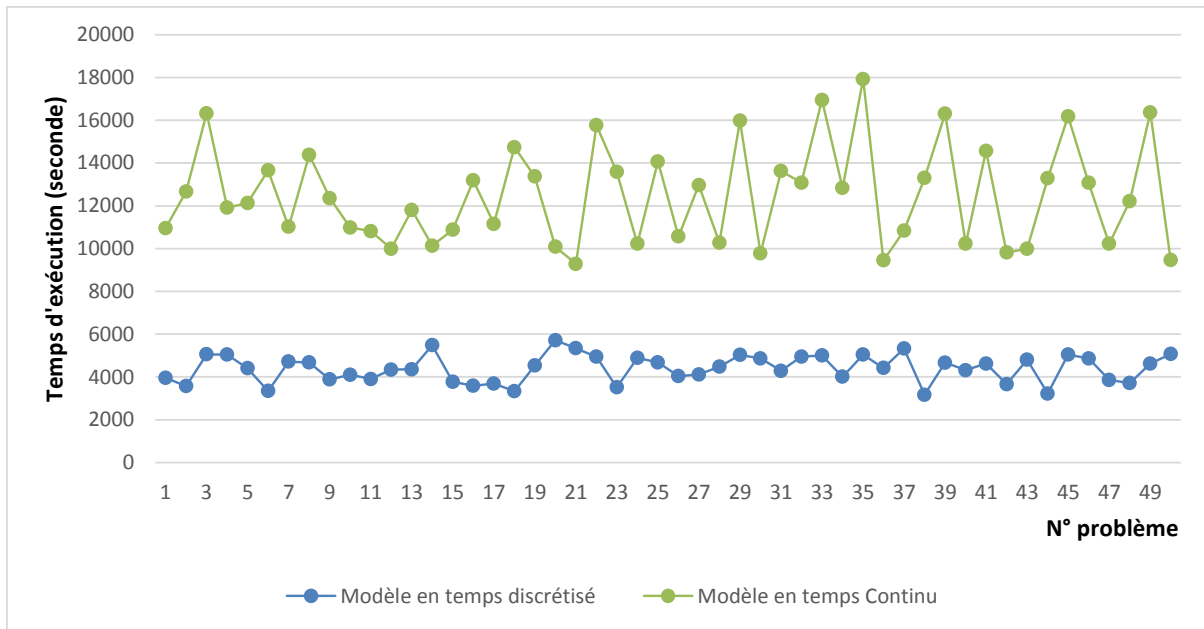


Figure 2.7 Comparaison des temps d'exécution pour les deux modèles, discrétisé et en temps continu

Par ailleurs, nous avons remarqué une différence très importante concernant les temps d'exécutions. Nous représentons ces temps pour chacun des modèles dans la Figure 2.7. Le temps moyen d'exécution pour le modèle discrétisé est de 4402 secondes contre 12495 secondes pour le modèle en temps continu. Cela peut être expliqué par le fait que le nombre de contraintes et de variables pour le modèle en temps continu est beaucoup plus important que celui du modèle discrétisé. Pour confirmer cette hypothèse, nous avons fait des comparaisons pour d'autres tailles. Nous présentons les résultats obtenus dans le Tableau 2.6.

Tableau 2.6 Comparaison des nombres de contraintes et variables des deux modèles pour différentes tailles de problèmes

	Taille du problème					Nombre de contraintes	Nombre de variables	TO (%)	TE(s)
	<i>nj</i>	<i>no</i>	<i>nc</i>	<i>nsp</i>	<i>npj</i>				
Modèle discrétisé	1	8	4	4	6	72	172	66,7	0,062
Modèle continu						164	96		0,169
Modèle discrétisé	1	16	4	4	8	128	460	1	0,187
Modèle continu						682	332		567
Modèle discrétisé	1	24	4	4	8	186	732	1	0,366
Modèle continu						4019	1763		1207
	Taille simulée								
Modèle discrétisé	1	30	15	5	28	6426	3380	99,71	4402.11
Modèle continu						17802	7192		12495.35

Pour conclure, les expérimentations que nous avons effectuées dans cette section ont pour objectif de nous aider à décider lequel des deux modèles adopter pour l'élaboration des programmes opératoires hebdomadaires pour les tailles réelles que nous allons traiter dans la section suivante. Les résultats que nous avons obtenus, la comparaison entre les temps d'exécution des deux modèles et la possibilité de prendre en considération des contraintes plus proche des cas réels, nous amène à choisir le modèle discrétisé.

2.4.4 Programmation opératoire hebdomadaire

L'objectif de ce paragraphe est d'établir les programmes opératoires hebdomadaires dans le cas du bloc opératoire Robert-Pax. Les comparaisons établies dans le paragraphe précédent (2.4.3) nous ont permis de choisir le modèle le plus adéquat pour cette fin. Nous adoptons alors, pour les simulations que nous présentons dans cette section, le modèle discrétisé.

Comme précédemment, nous considérons quatre salles opératoires multifonctionnelles qui ouvrent simultanément pendant 7 heures de travail chaque jour. Chaque journée est discrétisée en 28 périodes de 15 minutes et chaque semaine comprend 5 jours de travail. Les heures supplémentaires ne sont pas autorisées.

Nous avons généré 50 instances pour tester et évaluer la performance de l'heuristique que nous avons développée. Chaque instance comprend 90 opérations électives en attente de programmation. La composition des opérations obéit aux proportions définies pour les données réelles résumées dans le Tableau 2.5. Les simulations ont été effectuées avec le logiciel Xpress-MP, implémenté sur un PC Core i7 CPU 2.6GHz.

Le taux d'occupation moyen obtenu est de 77,81% en un temps moyen d'exécution de 15398 secondes (environ 4 heures d'exécution). Dans la Figure 2.8, nous représentons les taux d'occupation obtenus pour les 50 problèmes simulés comparés aux exigences de la HAS (75% de taux d'occupation). L'outil que nous proposons respecte bien cette exigence dans la plupart des cas.

Nous avons également observé le taux d'occupation par salle et par jour. Nous obtenons des taux d'occupation moyens par jour décroissants (Figure 2.9). Ceci met en exergue l'efficacité de la deuxième partie de notre fonction objectif, dont le but est de programmer les opérations au plus tôt en termes de jour et également en termes de période. En effet, cela peut offrir plus de flexibilité au responsable du bloc opératoire et en cas d'aléas (durées opératoires sous estimées, arrivée d'urgences...) et d'avoir une marge de sécurité pour pouvoir décaler des opérations si nécessaire.

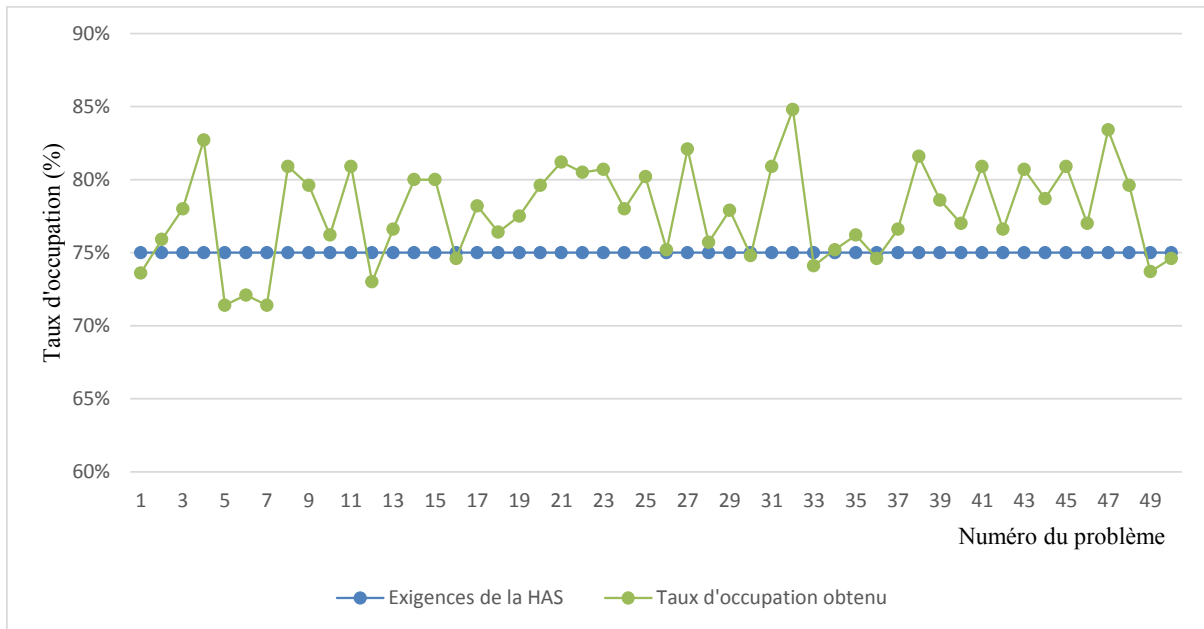


Figure 2.8 Comparaison des taux d'occupation obtenus avec les exigences de la HAS

Le pourcentage total d'opérations non affectées est de 21%. Nous avons observé les raisons de la non programmation (Figure 2.10). Pour ces simulations, nous retrouvons que la raison *CHIRIND* est la cause la plus importante. Il s'agit du cas où les disponibilités du chirurgien ne coïncident pas avec la disponibilité des salles. La deuxième cause *SMSOQ* est due au fait qu'une opération n'a pas pu être programmée parce que toutes les salles de cette spécialité sont occupées.

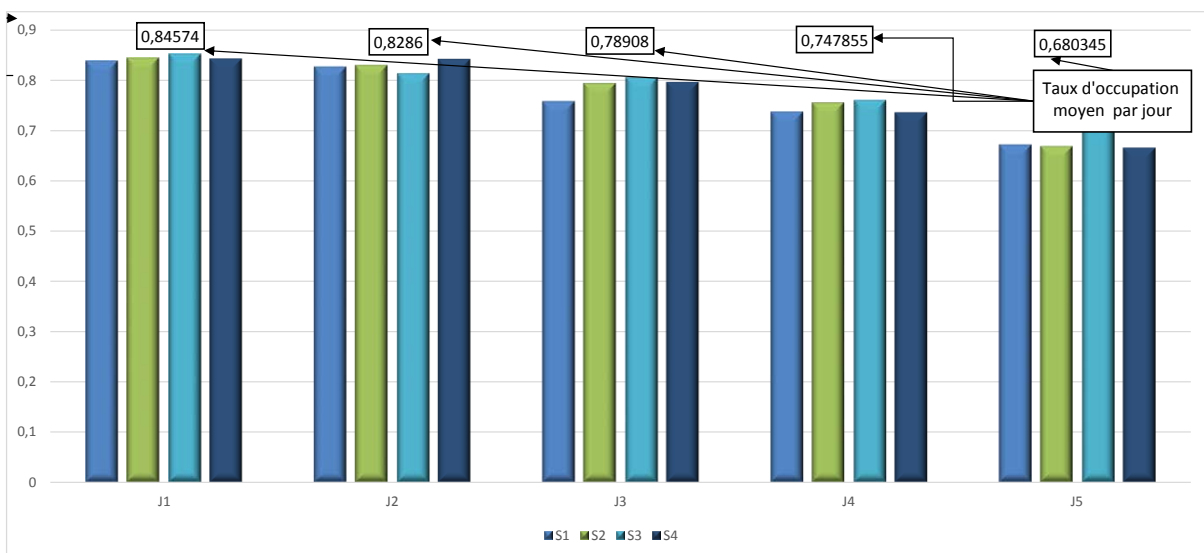


Figure 2.9 Taux d'occupation moyen par salle et par jour

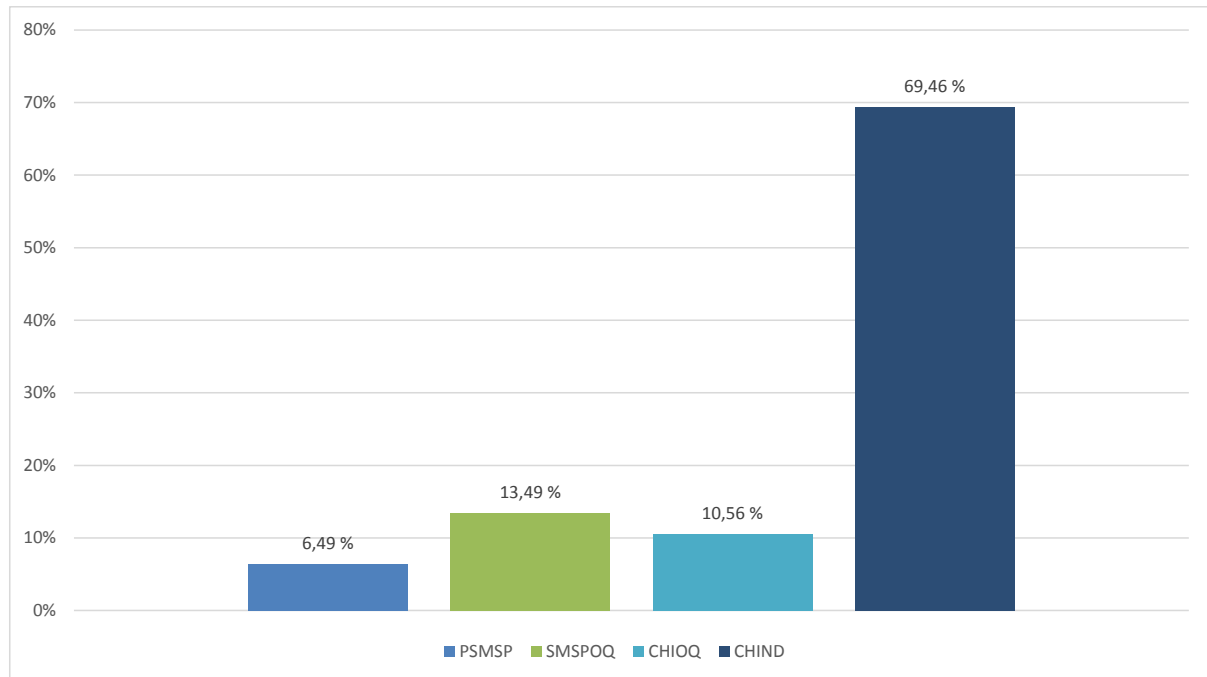


Figure 2.10 Pourcentages et raisons de la non programmation d'opérations

2.5 Conclusions

L'objectif de ce chapitre était de proposer un outil aux gestionnaires du bloc opératoire leur permettant de construire un programme opératoire prévisionnel. Pour répondre à ce besoin, nous avons proposé, dans un premier temps, un modèle mathématique dont l'objectif est de maximiser le taux d'occupation des salles opératoires et de minimiser les temps morts entre les interventions. Le modèle proposé prend en considération la disponibilité des ressources les plus coûteuses et importantes pour l'élaboration des opérations : les chirurgiens et les salles opératoires. L'horizon de planification pour ce modèle est discrétisé. L'explosion combinatoire des méthodes exactes nous a amené à proposer une heuristique constructive basée sur le modèle mathématique. Cette heuristique permet de construire des programmes opératoires de façon séquentielle.

A travers les simulations effectuées, nous avons comparé les performances de cette heuristique avec celles du modèle mathématique. Les résultats obtenus nous ont permis de conclure que l'approche heuristique proposée permet d'obtenir des solutions proche de l'optimal et ce dans un temps d'exécution ne dépassant pas quelques minutes. La méthode exacte et l'heuristique présentée dans ce chapitre ont été présentées à la conférence *Information Control Problems in Manufacturing* 'IFAC 2015' (Bouguerra *et al.*, 2015)

En plus du modèle discrétisé, nous avons exploré les performances d'un modèle avec un horizon de temps continu. La comparaison effectuée entre les deux modèles, nous a permis de

choisir celui que nous allons utiliser pour l'élaboration des programmes opératoires de tailles réelles. Les résultats de simulation, ont montré que, à cause de la complexité du modèle à temps continu, les durées d'exécution sont beaucoup plus longues que celles du modèle discrétisé. De ce fait, nous avons choisi de considérer le modèle à horizon discrétisé.

L'élaboration du programme opératoire hebdomadaire est effectuée en utilisant des données basées sur l'historique de fonctionnement du bloc opératoire Robert Pax. L'heuristique nous a permis d'obtenir les programmes opératoires hebdomadaires en un temps d'exécution raisonnable et un taux d'occupation respectant les recommandations de la HAS.

Nous avons réussi à fournir un outil capable de construire un programme opératoire hebdomadaire respectant les contraintes jugées les plus importantes (chirurgiens et salles opératoires) dans la majorité des travaux existants, en y ajoutant la possibilité de prendre en compte la disponibilité des chirurgiens au cours de la journée. Cependant, les programmes prévisionnels établis ne valent que si l'on prend en considération le reste des ressources intervenantes dans le processus opératoire. Nous proposons de prendre en considération non seulement les ressources en amont des salles opératoires (les brancardiers et les postes de préparation et d'induction), mais également les ressources en aval (les lits de réveil dans la salle de soins post interventionnel).

La prise en compte de ces ressources fera l'objet du chapitre suivant. Nous proposons un algorithme génétique, permettant de fournir un ordonnancement pour les différentes les ressources intervenantes dans le processus opératoire.

Chapitre 3

Flow shop hybride pour l'ordonnancement du processus opératoire

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé et comparé différents modèles mathématiques permettant d'élaborer des programmes opératoires prévisionnels. Selon (Roland, 2010), l'acteur le plus important dans le processus opératoire, après le patient, est le chirurgien. Par conséquent, nous n'avons considéré que la disponibilité des chirurgiens et des salles opératoires dans les modèles proposés. L'activité du bloc est régulée par les programmes opératoires, élaborés sur la base de l'emploi du temps des différents chirurgiens.

En revanche, un processus opératoire est une succession de plusieurs étapes, nécessitant chacune différentes ressources matérielles et humaines. Il est donc nécessaire d'orchestrer les différentes ressources intervenant dans le parcours chirurgical autour du programme opératoire prévisionnel. Le planning opératoire élaboré devra, non seulement définir les dates de début des différentes opérations programmées, mais également conditionner la programmation des autres ressources. L'objectif de ce chapitre est de définir, sur la base du planning opératoire, les emplois du temps des autres ressources, humaines ou matérielles, sollicitées par un patient lors de son parcours chirurgical.

Nous entamons ce chapitre par une analyse du parcours chirurgical, qui nous permettra d'assimiler le processus opératoire à un flow shop hybride à quatre étages avec blocage entre les différents étages, avec une contrainte de blocage de type « Release when Starting blocking » (*RSb*). Nous présenterons ensuite l'algorithme génétique que nous avons utilisé pour résoudre ce problème d'ordonnancement. Nous clôturerons ce chapitre par les expérimentations et les conclusions qui en découlent.

3.2 Analyse du processus opératoire

Le bloc opératoire est la structure où se déroulent les opérations chirurgicales. Généralement placé au centre d'un hôpital, il est accessible aux chirurgiens, aux médecins, aux anesthésistes, aux Infirmiers du Bloc Opératoire Diplômés d'Etat (IBODE), aux aides-soignants et aux brancardiers. Cette infrastructure est généralement composée de deux secteurs, les salles opératoires et les salles de soins post interventionnels. Quoique négligée dans la littérature, dans certains blocs opératoires, on retrouve également une salle dédiée à la préparation et l'induction des patients (sauf pour les opérations urgentes qui passent généralement directement dans les salles opératoires).

Vers le bloc opératoire convergent des flux qui proviennent des services de chirurgies électives, de la chirurgie ambulatoire, des urgences, des services de médecine (par exemple les endoscopies) et de la radiologie (telle que la radiologie interventionnelle). Ces flux se dirigeront ensuite vers les soins intensifs et la réanimation (en cas de complications post opératoires), les unités d'hospitalisation pour les opérations électives, ou enfin le domicile du patient pour les chirurgies effectuées en ambulatoire.

Nous présentons dans la Figure 3.1 les différents flux entrants et sortants du bloc opératoire, que nous présenterons plus en détail dans ce qui suit.

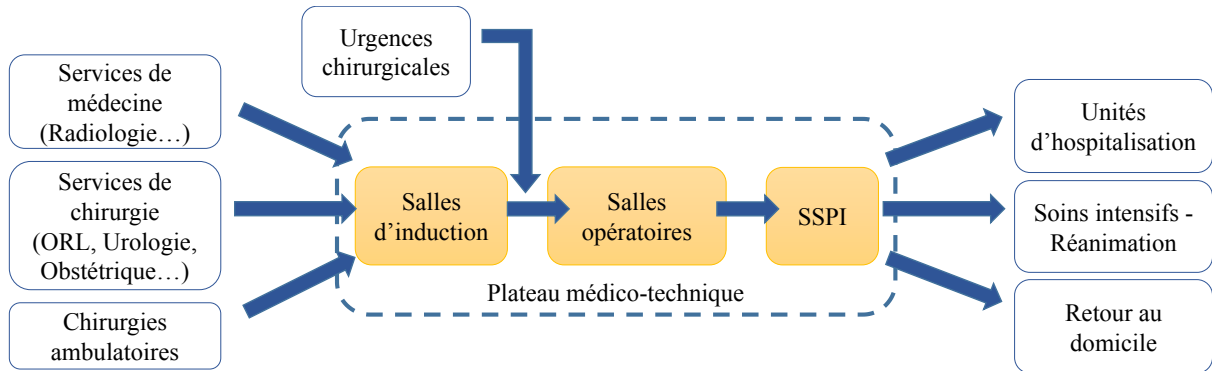


Figure 3.1 Les différents flux entrants et sortants du bloc opératoire

Tous les travaux sont unanimes sur la décomposition du processus opératoire (Erdogan et Denton, 2010). Leurs descriptions des activités de base pour opérer un patient se résument en trois grandes phases : pré-opératoire, per-opératoire et post-opératoire. Nous donnons dans les trois paragraphes suivants une description de ces étapes.

3.2.1 Phase pré-opératoire

Cette phase s'étend de la prise en charge du patient jusqu'à la veille de l'intervention (Figure 3.2). Elle englobe la consultation avec le chirurgien (CHIR) et avec le médecin anesthésiste-réanimateur (MAR). A chaque patient sera attribué un dossier médical, géré généralement par la secrétaire, qui se charge de la vérification de l'exactitude des données administratives du dossier. A la fin de cette phase, une date d'opération provisoire sera proposée au patient, mais elle pourra être modifiée ultérieurement selon la stratégie du bloc. Elle est commune aux opérations électives et ambulatoires, mais inexistante pour les opérations urgentes car celles-ci arrivent directement vers le bloc opératoire à partir du service des urgences.

3.2.2 Phase per-opératoire

Cette phase a lieu le jour de l'intervention. Elle s'étend de la préparation psychique du patient, avant l'intervention, jusqu'à ce qu'il quitte la salle de réveil (Figure 3.3). Elle comporte quatre étapes essentielles :

- *Transfert du patient vers le bloc opératoire* : Le médecin anesthésiste-réanimateur effectue une visite au patient la veille de l'opération (ou le jour même), afin de vérifier que le patient est prêt à être opéré. Le jour de l'opération, selon l'ordre de passage défini par le programme opératoire, un brancardier (ou deux) transfère les patients à opérer depuis la chambre d'hospitalisation vers le bloc opératoire.

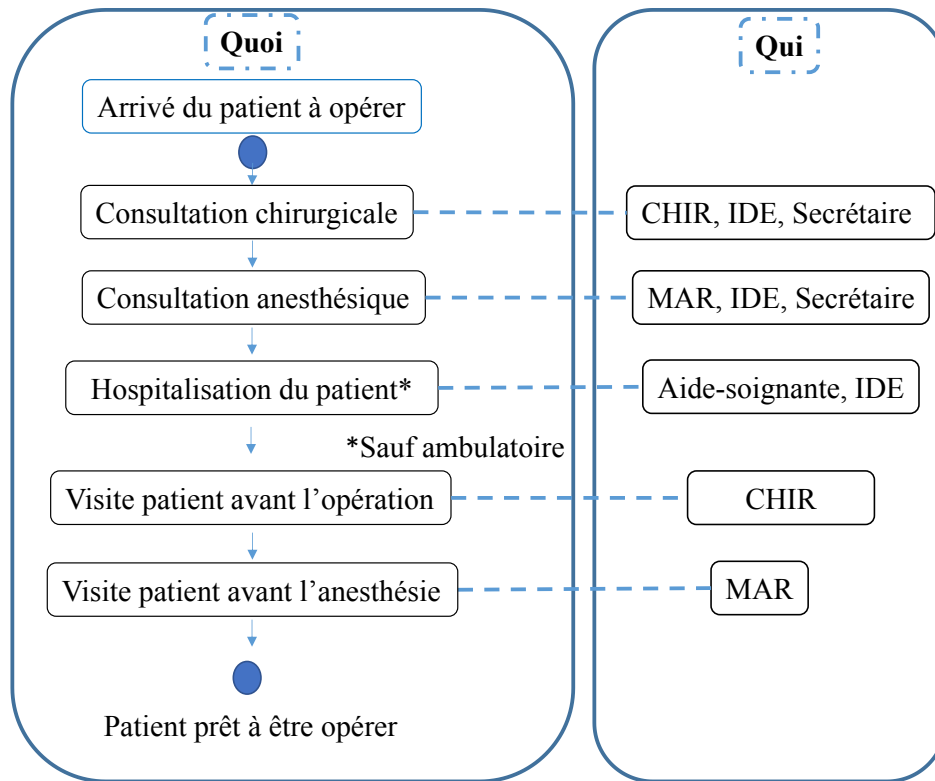


Figure 3.2 Phase pré-opératoire du processus opératoire

- *Préparation et anesthésie le patient* : Dans certains blocs opératoires, il existe une salle dédiée à la préparation à l'induction des patients. La salle d'anesthésie (ou préanesthésie) est destinée à l'accueil du patient avant son entrée dans la salle opératoire et à la mise en route éventuelle d'une anesthésie locale ou régionale (SFAR, 1995). Cette salle est généralement commune à plusieurs salles opératoires. Le médecin anesthésiste-réanimateur (MAR), l'Infirmier Anesthésiste Diplômé d'Etat (IADE) et un aide-soignant installent le patient et procèdent à l'anesthésie spécifique suivant les indications du dossier du patient à opérer (installations des moniteurs, voie veineuse périphérique, anesthésie locale, etc.). Suite à ces activités, le patient est apte à être opéré. Il sera donc transféré dans la salle opératoire et installé sur la table.
- *Opération du patient* : Le chirurgien (CHIR), l'Infirmier du Bloc Opératoire Diplômé d'état Instrumentiste (IBODEi) et l'Infirmier du Bloc Opératoire Diplômé d'état circulant (IBODEc) interviennent sur le patient. Durant toute l'intervention, le médecin anesthésiste-réanimateur (MAR) et l'IADE surveillent l'évolution de l'état du patient et gèrent l'anesthésie. A la fin de l'opération, l'Infirmier anesthésiste diplômé d'état (IADE) de SSPI installe le patient dans un lit de la salle de surveillance post-interventionnelle (SSPI).
- *Surveillance du réveil du patient* : Les informations concernant l'état du patient sont transmises par le médecin anesthésiste-réanimateur et l'IADE ayant anesthésié le patient à l'IADE de la salle de réveil. Ce dernier va suivre l'évolution de l'état du

patient et surveiller son réveil. Dans le cas où le patient présente certaines complications lors de son réveil, il est transporté vers le service de soins intensifs ou en réanimation. Si le réveil se termine correctement, le patient est transporté par les brancardiers vers sa chambre.

3.2.3 Phase post-opératoire

Après son réveil, le patient est transféré vers son lit d'hospitalisation. Durant la phase post-opératoire, le patient bénéficie d'un ensemble de soins nécessaires suite à l'opération. Si des complications se manifestent, le patient peut être transféré vers les soins intensifs et la réanimation.

3.2.4 Analogie entre processus opératoire et flow shop hybride avec blocage de type *RSb*

Les problèmes d'ordonnancement, dans le milieu industriel, ont été largement traités. La littérature, abondante dans ce domaine, incite à s'inspirer d'outils ayant fait leurs preuves dans l'industrie. Dans le contexte hospitalier, les problèmes d'ordonnancement au sein des blocs opératoires ont souvent été assimilés à des flow shop hybrides à deux ou trois étages (Marcon et Kharraja, 2002; Jebali, 2004; Fei, 2006; Chaari, 2010). Le nombre d'étages dépend du nombre de ressources considérées.

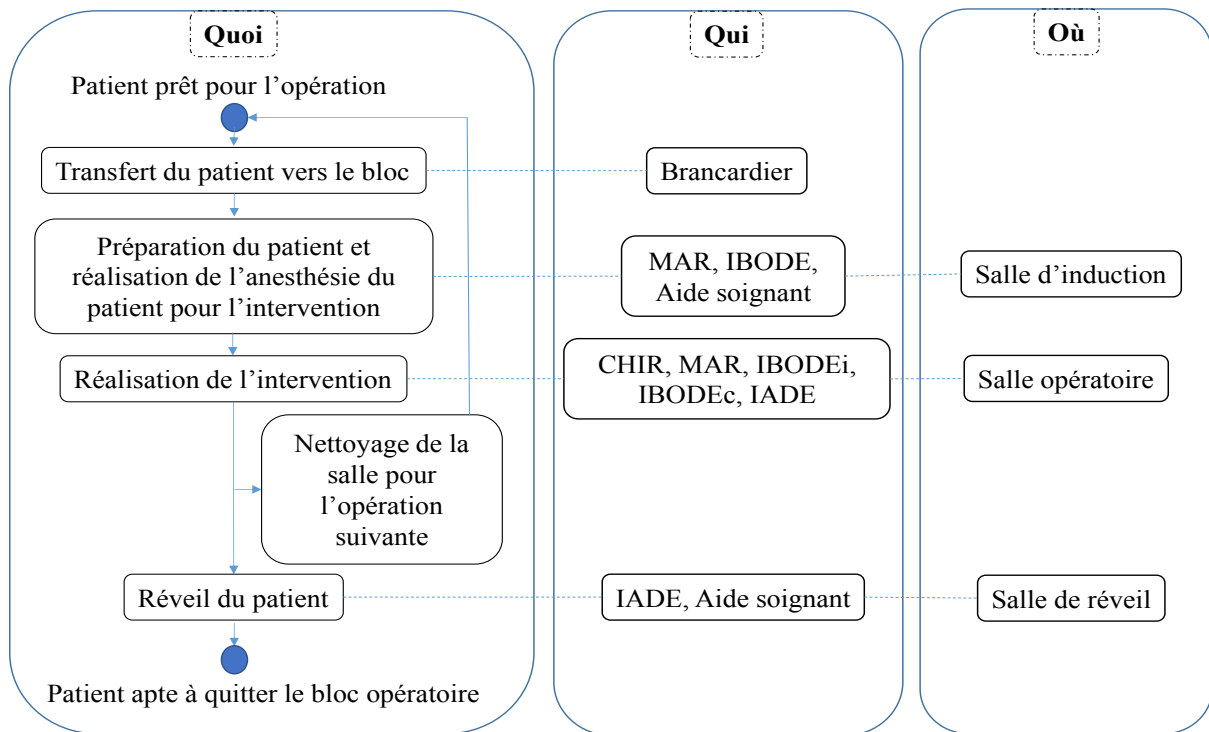


Figure 3.3 Phase per-opératoire du processus opératoire

Dans la revue de littérature effectuée dans le Chapitre 1, nous avons vu que les deux principales ressources considérées sont les salles opératoires et les lits de réveils. Plus rares sont les travaux ayant considéré d'autres ressources, comme les salles de soins intensifs, les brancardiers, les salles d'induction, etc. Nous avons également constaté que deux catégories de travaux existent. La première catégorie inclut les travaux qui imposent que le réveil du patient commence dans la salle de réveil. On parle alors de contrainte sans attente (*no-wait*) (Guinet et Chaabane, 2003; Hsu, *et al.*, 2003). Dans les travaux de la seconde catégorie, les auteurs considèrent que les patients peuvent commencer leur réveil dans la salle opératoire, si tous les lits de réveils sont occupés (Kharraja, *et al.*, 2002; Jebali, *et al.*, 2006; Fei et Meskenst, 2006; Augusto, *et al.*, 2007; Fei *et al.*, 2008). Dans ce cas de figure, la salle opératoire est bloquée jusqu'à libération d'un lit pour transférer le patient, on parle alors de contrainte de blocage.

Dans son étude, Roland (2010) mentionne que 8% des opérations sont, au moins, partiellement bloquées dans les salles opératoires. Il est donc important de prendre en considération cette contrainte. En plus des salles opératoires et des lits de la salle de soins post interventionnels, nous prenons en compte également les brancardiers et la salle de préparation et d'induction.

En effet, dans leur étude de dimensionnement pour les ressources du bloc opératoire, les auteurs de (Marcon *et al.*, 2003), ont considéré les brancardiers, les salles opératoires et les lits de réveils. Ils en ont déduit que les brancardiers sont une ressource goulot qui influence considérablement les durées d'ouverture des salles opératoires et de la salle de soins post interventionnels. Dans ce sens, l'Agence Nationale d'Appui à la Performance des établissements de santé et médico-sociaux (ANAP) confirme également que « *Le brancardage des patients est une étape importante dans la prise en charge d'un patient au bloc opératoire. Un brancardage non optimisé peut conduire à des dysfonctionnements (démarrage tardif, retard d'interventions, engorgement en SSPI, etc.) dont les conséquences peuvent être multiples (désorganisation, surcoûts, sous occupation des équipes chirurgicales, etc.)* ». De ce fait, nous décidons de considérer cette ressource dans notre étude.

Lors de nos visites au bloc opératoire de notre partenaire, l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines, le responsable du bloc opératoire nous a communiqué la perspective de mettre en place une salle mutualisée pour la préparation et l'anesthésie des patients. Nous avons déjà constaté dans la revue de littérature du Chapitre 1 que rare sont les travaux ayant considéré cette ressource. Notons qu'en Amérique et en Suisse, respectivement 81% et 94% des blocs possèdent des salles ou des zones d'induction (Sieber et Leibundgut, 2002). Les auteurs de (William *et al.*, 2000) mentionnent que les salles d'induction constituent un environnement calme pour les patients et les médecins anesthésistes, ce qui permet de réduire l'angoisse du patient et contribue alors à offrir plus de confort pour les patients. De plus, les auteurs de (Torkki *et al.*, 2005) ont démontré que la mise en place d'une salle d'induction mutualisée, permet de réduire la durée de séjour des patients au sein du bloc opératoire d'une manière significative (sans compter la durée de réveil des patients). En effet, d'après ces auteurs, dans un bloc opératoire sans salle d'induction, la durée de séjour d'un patient est de 156 min (± 70 minutes), avec la mise en place d'une salle d'induction ce temps passe à 108 minutes (± 36 minutes).

Nous considérons alors, dans la problématique d'ordonnancement et de planification que nous traitons, une salle d'induction composée d'un ensemble de postes destinés pour la préparation et l'anesthésie (ou préanesthésie) des patients.

Comme le montre la Figure 3.3, il existe, dans certains blocs opératoires, une salle ou un espace dédié aux actes d'anesthésie loco régionale, appelée salle de « préanesthésie » ou salle d'induction. Elle est généralement composée d'un ensemble de postes, chacun équipé d'un scope et d'une arrivée d'oxygène. C'est dans ces postes que le patient attendra son passage à la salle opératoire.

Notre modèle d'ordonnancement est concentré sur l'ensemble des ressources suivantes : {Couple de brancardier, poste d'anesthésie, salle opératoire, lit de réveil} (Figure 3.4). Nous avons mentionné l'existence d'un blocage lors du passage du patient de la salle opératoire vers son lit de réveil. Par ailleurs, ce blocage existe également entre le reste des ressources considérées. En effet, un brancardier qui ramène un patient vers son poste d'anesthésie doit attendre la libération du poste et la prise en charge du patient. Pareillement, tant qu'une salle d'opération ne se libère pas, le poste d'anesthésie restera bloqué et ne pourra pas accueillir un nouveau patient.

Dans le cas d'un flow shop hybride, des machines identiques sont disponibles à chaque étage en plusieurs exemplaires. L'absence d'espace de stockage entre les machines appartenant à différents étages conduit, dans certains cas, à des situations de blocage.

Nous retrouvons cette configuration dans le parcours opératoire que nous avons défini (Figure 3.4). De ce fait, l'ensemble des ressources considérées est assimilé à un flow shop hybride à quatre étages avec blocage entre les différents étages. Pour la résolution de notre problème, nous nous sommes basé sur un algorithme génétique proposé dans (Sauvey et Sauer, 2012). Nous utilisons cet algorithme pour résoudre notre problème d'ordonnancement hospitalier, que nous avons identifié à un flow shop hybride à 4 étages, avec contraintes de blocage.

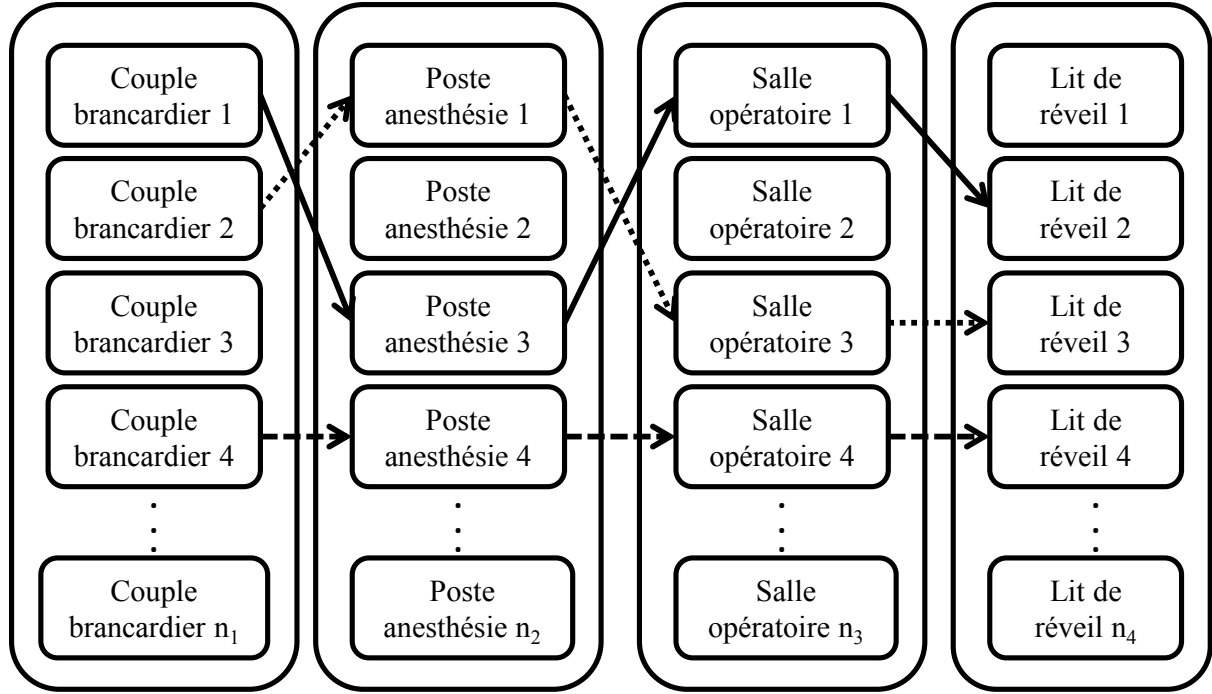


Figure 3.4 Ressources considérées pour le modèle d'ordonnancement (Flow shop hybride à quatre étages)

Par analogie avec les différentes contraintes de blocage définies dans (Sauvey et Sauer, 2012), la contrainte de blocage identifiée entre les ressources que nous considérons dans le parcours chirurgical peut être assimilée à une contrainte de blocage classique, appelée *RSb*. Dans un contexte industriel, le blocage *RSb* existe lorsqu'une machine reste bloquée jusqu'à ce que le job qu'elle vient de terminer démarre sur la machine suivante. Nous illustrons cette contrainte de blocage dans la Figure 3.5. Un job J_i ne peut commencer son exécution sur la machine M_j que si le job J_{i-1} a commencé son exécution sur la machine M_{j+1} . De ce fait, si la date de début d'exécution du job J_i sur la machine M_j est supérieure à sa date de fin d'exécution sur la machine M_{j-1} , alors un blocage intervient entre les jobs J_i et J_{i+1} sur la machine M_{j-1} .

Dans le paragraphe suivant, nous détaillons l'algorithme génétique que nous adaptons pour la résolution du problème d'ordonnancement au sein du bloc opératoire.

3.3 Notre approche

L'analyse du processus opératoire et l'analogie effectuée avec les systèmes de production flexible nous ont permis d'assimiler le parcours d'un patient à un flow shop hybride à quatre étages avec blocage de type *RSb* entre tous les étages.

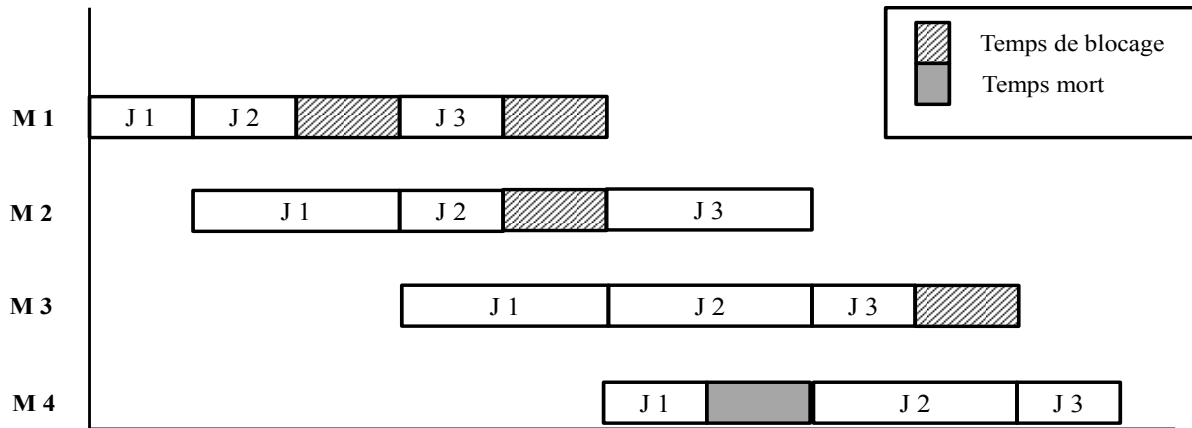


Figure 3.5 Illustration de la contrainte RSb

Dans le Chapitre 2, nous avons proposé un modèle mathématique permettant de développer un programme opératoire prévisionnel respectant la disponibilité des chirurgiens. Cette définition des dates de début des opérations n'est pas suffisante pour la réalisation du programme opératoire. En effet, l'ordonnancement des opérations dans les salles opératoires dépend également des flux de patients vers le bloc. Si les patients ne parviennent pas au bloc opératoire à l'horaire prévu, cela engendre un retard dans les dates de début par rapport aux dates prévisionnelles et par conséquent des heures supplémentaires et le non-respect des disponibilités des chirurgiens qui est défini comme la ressource la plus importante par (Roland, 2010).

Les retards des patients proviennent des ressources en amont des salles opératoires (brancardiers et poste de préparation et anesthésie). Par exemple, un temps de brancardage sous-estimé, un nombre de brancardiers ou de postes de préparation et anesthésie insuffisant, conduisent à des situations de blocage et des retards de réalisation dans le programme opératoire. Toutes ces conséquences mènent à une insatisfaction du patient et engendrent des coûts supplémentaires pour l'hôpital et, dans certains cas, l'annulation des opérations par faute de disponibilité de chirurgiens. Il convient alors de définir, pour chacune des ressources intervenantes dans le processus opératoire, quand prendre en charge le patient dans le but de respecter au mieux le programme opératoire prévisionnel.

A cette fin, nous adaptons l'algorithme génétique développé par (Sauvey et Sauer, 2012) défini pour résoudre des problèmes d'ordonnancement de type flow shop ou flow shop hybride avec différents types de blocage pour pouvoir prendre en compte des contraintes supplémentaires imposées par le contexte hospitalier.

Nous présentons, en premier lieu, le fonctionnement de cet algorithme. Nous expliquons ensuite les modifications que nous avons apportées pour pouvoir l'utiliser pour notre problème hospitalier.

3.3.1 Algorithme génétique

L'algorithme est composé de cinq étapes principales, présentées de façon schématique sur la Figure 3.6. D'abord, on génère aléatoirement une population, puis on l'évalue (étapes 1 et 3). Une population est composée de plusieurs individus, dont chacun est identifié par son chromosome. Chaque chromosome correspond à une séquence d'ordonnement. Les gènes correspondent chacun à un job de la séquence. L'évaluation d'une population consiste donc à calculer le makespan correspondant à chaque individu (séquence). Ensuite, on entre dans la boucle principale, composée des étapes 2 à 4, dans laquelle on effectue tour à tour les opérations de sélection des individus, puis d'évaluation de la nouvelle population, et enfin le contrôle des conditions d'arrêt du programme.

La sélection détermine les individus susceptibles de donner les meilleurs résultats. Elle est composée des deux étapes principales, le croisement et la mutation. Le croisement enrichit la population en générant deux enfants à partir des chromosomes respectifs des deux parents. La technique de croisement utilisée ici est la plus classique, une coupe simple suivie d'une réparation pour éliminer les gènes en double chez chacun des enfants. La mutation inverse aléatoirement deux gènes choisis aléatoirement chez un individu de départ. Le critère que nous avons choisi pour arrêter l'algorithme est le nombre de populations pendant lequel la meilleure solution connue n'a pas évolué (*ctbvi*). On peut considérer que l'on donne *ctbvi* chances à la boucle principale pour trouver une meilleure solution avant d'arrêter le programme.

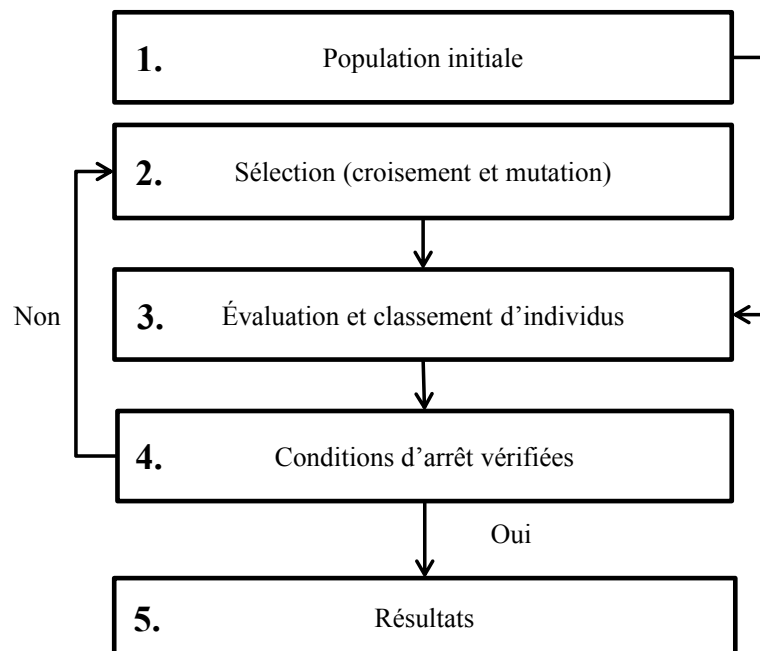


Figure 3.6 Présentation de l'algorithme génétique

Notre algorithme génétique permet d'imposer le pourcentage de meilleurs individus (*pc_best*) que l'on garde d'une génération à l'autre, celui correspondant à l'insertion de nouveaux

individus générés de façon aléatoire (*pc_new*), ainsi que le pourcentage de croisement (*pc_cross*) pour générer une nouvelle population à partir de la précédente. Le reste de la population est généré par mutation sur les meilleurs individus de la population précédente.

3.3.2 Adaptation de l'algorithme génétique pour le processus opératoire

Dans l'algorithme génétique pour le cas du flow shop hybride, les chromosomes sont une suite de nombres qui définissent l'ordre selon lequel nous posons les jobs sur les différents étages. Dans notre cas, cela correspond à l'ordre de passage des patients par chacune des étapes du processus opératoire composé de quatre ressources (étages).

Nous exposons dans ce paragraphe les quatre modifications que nous avons apportées à la version initiale de l'algorithme génétique pour pouvoir l'adapter à notre contexte hospitalier. Ces modifications sont les suivantes :

1. Rappelons que nous disposons préalablement du programme opératoire prévisionnel et que notre objectif est de proposer un ordonnancement pour les différentes ressources du processus opératoire, tout en respectant au mieux le programme prévisionnel. En plus des dates de début, les programmes opératoires définissent également les spécialités affectées dans chacune des salles opératoires, pour chaque jour de l'horizon de planification. Nous disposons alors de salles spécialisées ne pouvant accueillir que des opérations appartenant à cette discipline chirurgicale. Plusieurs ressources sont disponibles sur chacun des étages pour exécuter les tâches du flow shop hybride. Usuellement, le choix de la ressource qui va exécuter la tâche n'est pas défini à l'avance. Etant donné que les salles opératoires sont spécialisées, nous avons ajouté cette contrainte. Dans l'étage des salles opératoires (3^{ème} étage), nous affectons à chaque patient la salle opératoire dans laquelle son opération sera effectuée.
2. Les situations de blocage, engendrées par l'absence de stock entre les machines, produisent des temps d'attente pour les jobs. A la fin du blocage, le job passe à la machine de l'étage suivant et l'occupe pendant son temps d'exécution. Dans un bloc opératoire, le passage d'un étage à un autre est, dans certains cas, différent. En effet, à l'étage des salles opératoires, quand tous les lits de réveils sont occupés à la fin de l'opération, le patient commence son réveil dans la salle opératoire. De ce fait, le temps de blocage dans la salle opératoire d'un patient, devra être réduit de son temps de passage à la salle de réveil. Nous avons intégré cette caractéristique à la fonction d'évaluation utilisée dans notre algorithme.
3. Dans un contexte industriel, les ressources des différents étages sont tous disponibles en début d'horizon. Par ailleurs, au sein d'un bloc opératoire, les ressources en amont des salles opératoires sont disponibles avant l'heure d'ouverture de ces dernières. En effet, les brancardiers et postes de préparation et d'anesthésie sont disponibles pour prendre en charge le patient avant l'heure d'ouverture des salles opératoires. De ce fait, nous intégrons cette contrainte à notre algorithme génétique. Nous imposons que les dates de début dans les salles opératoires débutent à partir d'une heure bien précise. Les ressources en amont, même si elles sont disponibles plus tôt, doivent s'adapter à cette

contrainte, de telle sorte que les dates de fin sur le deuxième étage (postes de préparation et d'anesthésie) correspondent à la date d'ouverture des salles opératoires.

4. En plus de proposer un ordonnancement pour les différentes ressources considérées du processus opératoire, notre objectif est de respecter le programme opératoire prévisionnel qui constitue notre point de départ. La fonction d'évaluation généralement considérée est la minimisation du makespan. Dans notre cas, nous avons modifié la fonction d'évaluation en une fonction pondérée pour deux objectifs : le premier objectif est de minimiser la différence entre les dates de début proposées par l'algorithme génétique pour l'étage des salles opératoires et les dates de début proposées par le programme opératoire prévisionnel. Le deuxième objectif est de minimiser le makespan.

Afin d'illustrer l'objectif de l'outil que nous proposons, nous présentons dans le paragraphe suivant un exemple illustratif.

3.3.3 Exemple illustratif

Avant de présenter les résultats des différentes simulations effectuées, nous exposons un exemple à travers lequel nous expliquons le fonctionnement et l'objectif de l'outil proposé. Nous considérons un programme opératoire pour une journée. Le bloc opératoire considéré est composé de deux salles opératoires. La Figure 3.7 illustre le programme opératoire considéré. Quatre opérations sont programmées dans les deux salles opératoires disponibles.

Nous disposons de deux couples de brancardiers, deux postes d'anesthésie et de préparation et de deux lits de réveils. Les durées des différentes phases du processus opératoire sont présentées dans le Tableau 3.1.

L'outil proposé fournit un ordonnancement sur les différents étages sans générer de décalage par rapport aux anciennes dates de début Figure 3.8. Les créneaux pendant lesquels les différentes ressources sont occupées sont connus. La définition d'un planning définissant les dates de début pour les différentes ressources permet, en particulier pour les brancardiers qui sont une ressource mutualisée entre les différents services, de connaître les créneaux pendant lesquels ils seront libres et quand ils pourront être affectés) d'autres services (transfert de patients vers le service de radiologie par exemple).

Salle opératoire 1	Op1	Op 2
Salles opératoire 2	Op 3	Op 4

Figure 3.7 Programme opératoire initial

Tableau 3.1 Durées de traitement dans les différents étages

	Durées brancardage	Durées préparation et anesthésie	Durées opératoires	Durées du réveil
Opération 1	2	1	2	2
Opération 2	2	2	1	3
Opération 3	2	2	2	2
Opération 4	2	1	2	2

Le réveil du patient 2 dure deux unité de temps. Le patient a entamé son réveil dans la salle opératoire puisque tous les lits de réveil sont occupés à la fin de l'opération. Dès qu'un lit de réveil s'est libéré, le patient est transféré et termine son réveil dans la salle de soins post interventionnels.

Nous présentons dans ce qui suit les expérimentations effectuées ainsi que l'interprétation des résultats obtenus.

3.4 Expérimentations

Nous présentons dans cette partie les expérimentations effectuées avec l'algorithme génétique proposé. Pour la réalisation de ces expérimentations, l'algorithme génétique a été programmé avec le langage « C++ » et exécuté sur un PC Core i7 CPU 2.6GHz. Nous présentons en premier lieu les données que nous avons générées pour les expérimentations effectuées. Ensuite, la dernière partie est consacrée aux résultats et à leurs interprétations.

3.4.1 Génération des données

La première étape consiste à générer les programmes opératoires prévisionnels. Pour ces expérimentations, nous décidons de générer des programmes sur un horizon de planification d'une seule journée. En effet, nous avons décidé que les programmes opératoires initiaux seraient optimaux. Nous allons donc utiliser le modèle mathématique détaillé dans le paragraphe 2.2.2. Les simulations effectuées dans le paragraphe 2.2.4 ont montré que le modèle mathématique ne fournit des solutions optimales en un temps raisonnable que pour un horizon de planification inférieur à 3 jours.

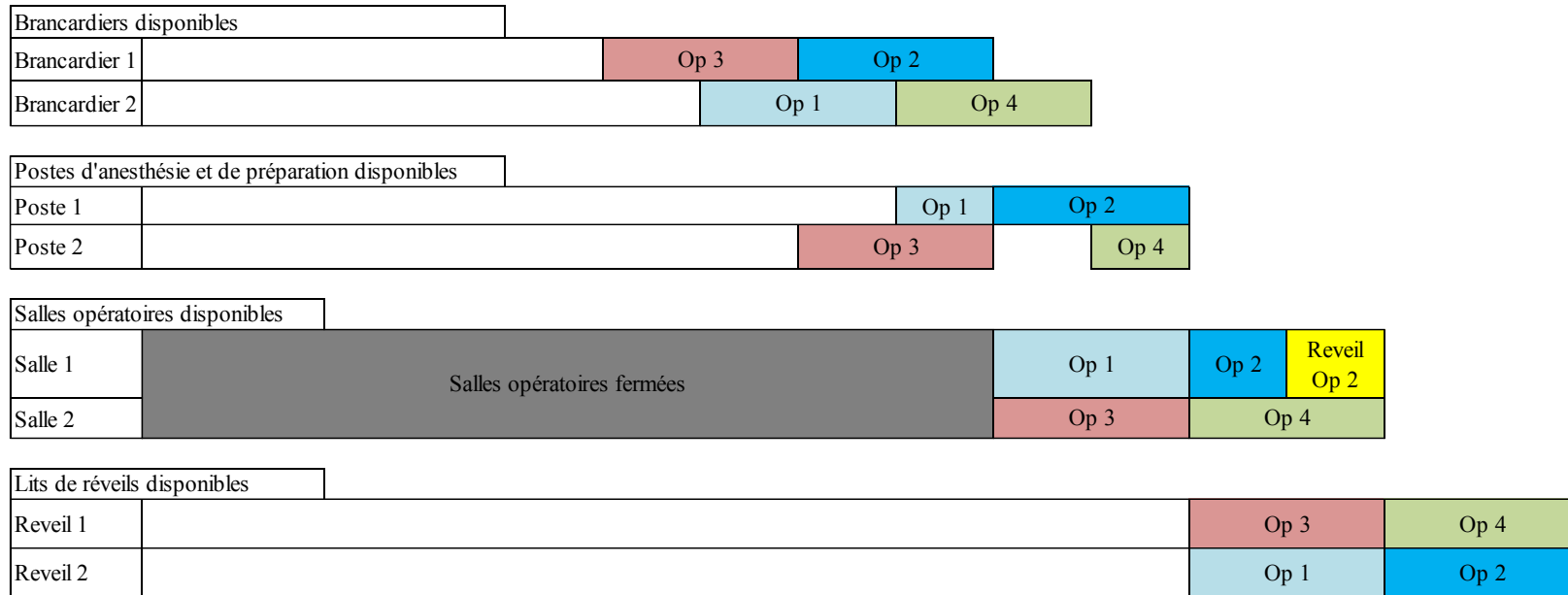


Figure 3.8 Résultats obtenus pour l'exemple illustratif

Nous générons des programmes opératoires pour trois tailles différentes de bloc opératoire : 4, 5 et 6 salles opératoires. Les opérations effectuées proviennent de cinq disciplines chirurgicales différentes. Toutes les données générées (les durées opératoires, la proportion des opérations par spécialité, le nombre de chirurgiens intervenant par spécialité...) sont issues des données réelles du bloc opératoire Robert Pax Sarreguemines définies dans le Tableau 2.5.

D'après les recommandations de la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (SFAR, 1998), il faut préconiser 1,5 lits de réveil pour chaque salle opératoire. Par ailleurs, dans les travaux de (Marcon *et al.*, 2003), les auteurs ont montré que le nombre de lits de réveil nécessaires dépend également du nombre de brancardiers qui raccompagnent les patients dans leur chambre et qui influence énormément le nombre de lits de réveil nécessaires. De ce fait, nous ne nous sommes pas uniquement contentés de considérer les recommandations de la SFAR, mais nous avons également essayé de voir l'influence du nombre de lits sur les résultats. Nous avons fait varier le nombre de lits de réveil de $(1,5 \times \text{le nombre de salles opératoires})$ à $(1,5 \times \text{le nombre de salles opératoires}) + 1$.

En plus des programmes opératoires prévisionnels, nous avons également besoin pour nos simulations des durées de brancardage des patients vers le bloc opératoire, des durées de préparation et d'anesthésie dans les postes de la salle d'induction et des durées de réveil.

Pour les durées de brancardage des patients de leur lit d'hospitalisation vers le bloc opératoire, les auteurs de (Marcon *et al.*, 2003), ont supposé que la durée de brancardage pour les opérations ambulatoires est de 15 minutes et de 20 minutes pour les opérations électives quelle que soit la spécialité des opérations. En absence d'un référentiel standardisé au niveau des durées de brancardage, nous supposons que ces durées dépendent de la spécialité des opérations. En effet, la durée de brancardage dépend de la distance entre le service dans lequel le patient est hospitalisé et le bloc opératoire. De ce fait, pour les cinq spécialités considérées, nous leur affectons aléatoirement une de ces durées de brancardage : 15, 30 et 45 minutes.

Pour les durées de préparation et d'induction des patients, nous nous référons aux travaux de (Kharraja, *et al.*, 2002). La durée de préparation et d'induction du patient est de :

- 10 min si la durée de l'intervention est ≤ 60 min
- 20 min si la durée de l'intervention est > 60 min et ≤ 120 min
- 30 min sinon

D'après les mêmes auteurs (Kharraja, *et al.*, 2002), les durées de séjour en SSPI sont fonction de la nature et de la durée de l'intervention. Nous avons donc généré aléatoirement la durée de réveil, suivant une loi log normale dont la moyenne est la durée de l'opération diminuée de 10 minutes, avec un écart type de 15 min.

Nous supposons que tous les patients effectuent un passage aux postes de la salle d'induction. En effet, même si l'anesthésie du patient est effectuée dans la salle opératoire, le passage du patient sera consacré à sa préparation (installation des moniteurs, pose de la voie veineuse

périphérique, vérifications des coordonnées du patient, vérification d'absence de bijou, relevé des chiffres de référence avant induction, ...).

Nous ne prenons pas en compte le retour du patient vers son lit d'hospitalisation. Seul le parcours allé est pris en compte. Nous supposons donc qu'après la fin de leurs opérations les patients quittent directement la SSPI.

La durée d'ouverture des salles opératoires est de 7 heures. Lors de l'élaboration des programmes opératoires, toutes les opérations sont programmées pendant la durée d'ouverture régulière des salles opératoires. Nous autorisons, par ailleurs, les heures supplémentaires pour l'ordonnancement proposé par l'algorithme génétique.

Pour ces expériences, les valeurs des paramètres que nous avons utilisées sont les suivantes : $pc_best = 0,1$; $pc_new = 0,1$; $pc_cross = 0,65$ et $ctbvi = 1000$.

3.4.2 Résultats

Pour les simulations effectuées, nous avons généré des programmes opératoires pour trois tailles de bloc différentes : 4, 5 et 6 salles opératoires. Le premier objectif des simulations que nous effectuons est de définir un ordonnancement pour toutes les ressources intervenantes dans le processus opératoire : brancardiers, postes de préparation et d'anesthésie, salles opératoires et lits de réveil. Le deuxième objectif de ces simulations est de définir, en fonction de la taille du bloc opératoire, le nombre de ressources nécessaires dans les différentes étapes du processus chirurgical permettant de respecter les programmes opératoires prévisionnels. Le nombre d'opérations programmées dans les plannings prévisionnels générés sont respectivement 19, 23 et 29 opérations.

Pour chaque taille de bloc, nous testons différentes combinaisons de ressources. Nous présentons, dans les tableaux 3.2, 3.3 et 3.4, les résultats obtenus respectivement pour 4, 5 et 6 salles. Pour chacune des tailles, 18 configurations différentes ont été testées.

Nous testons, pour toutes les configurations, trois fonctions d'évaluation différentes. En effet, la fonction d'évaluation définie pour l'algorithme génétique que nous utilisons est une fonction pondérée par deux objectifs : (1) minimiser le retard par rapport aux dates de début définies dans le programme opératoire optimal, (2) minimiser le makespan. Pour la première fonction d'évaluation testée, nous partons d'un programme opératoire optimal et essayons uniquement de minimiser le retard par rapport aux dates de début définies dans cette solution initiale. La deuxième fonction d'évaluation vise à minimiser uniquement le makespan pour la salle des soins post interventionnels (4^{ème} étage du flow shop hybride). Cette fonction d'évaluation a été considérée dans plusieurs travaux (Kharraja *et al.*, 2002; Guinet et Chaabane, 2003b; Saadani *et al.*, 2006; Fei *et al.*, 2010). La troisième fonction minimise les deux objectifs. Nous avons effectué plusieurs tests pour décider des pondérations à utiliser pour ces deux objectifs. Les coefficients de pondération qui ont permis de minimiser les deux objectifs sont 5000 pour le makespan et 100 pour le critère retard. Pour ces trois cas, nous respectons les affectations des opérations dans les salles opératoires définies dans les programmes opératoires optimaux.

Pour chaque problème, et pour chacune des fonctions d'évaluation, nous donnons le retard moyen par opération engendré par rapport aux dates initiales dans le programme opératoire, ainsi que la date d'achèvement (makespan) à l'étage des lits de réveil. Nous donnons également le makespan dans les salles opératoires, ce qui nous permet d'en déduire le nombre d'heures supplémentaires engendrées dans les salles opératoires par l'ordonnancement proposé. Ces heures sont générées dès que le makespan des salles opératoires dépasse 7 heures.

Pour la première fonction d'évaluation permettant de minimiser le retard, nous observons que pour les différentes tailles de bloc opératoire considérées, afin de respecter le planning prévisionnel qui se traduit par une somme de retards nulle, il faut disposer d'un nombre de brancardiers et de postes de préparation et d'induction supérieur ou égal au nombre de salles opératoires. En effet, si le nombre de l'une de ces deux ressources en amont des salles opératoires est inférieur au nombre de salles, alors un retard est engendré.

Avec la première fonction d'évaluation, nous prenons en compte les dates de début définies par les programmes opératoires optimaux. Lors de l'élaboration de ces programmes, les heures supplémentaires ne sont pas autorisées. En minimisant l'écart par rapport à ces dates de début, nous imposons une contrainte supplémentaire qui permet implicitement de minimiser le dépassement des durées d'ouverture régulières (la durée d'ouverture régulière des salles opératoires considérée est de 7 heures). En effet, en moyenne, les heures supplémentaires engendrées pour les trois tailles de bloc opératoire considérées, sont respectivement de 0,2, 0,31 et 0,29 heures. Ces moyennes sont inférieures à celles obtenues avec la deuxième et la troisième fonction d'évaluation, qui sont respectivement de 0,43, 0,45 et 0,52 heures avec la deuxième fonction objectif et de 0,29, 0,43 et 0,42 heures avec la troisième fonction.

Par ailleurs, avec la première fonction d'évaluation, nous ne minimisons pas le makespan pour la salle de réveil. En minimisant ce critère avec la deuxième fonction d'évaluation, nous avons réussi à réduire le makespan par rapport à celui obtenu avec la première fonction. Une diminution moyenne du makespan pour les trois tailles de bloc opératoire considérées est respectivement de 0,9, 1,23 et 0,41 heures. Ceci permet de réaliser des économies, étant donné que la durée d'ouverture des SSPI a diminué.

Cependant, nous constatons qu'avec cette fonction d'évaluation, le retard engendré par rapport aux dates de début du programme opératoire optimal a considérablement augmenté. L'augmentation engendrée par rapport au retard moyen obtenu avec la première fonction objectif pour les tailles considérées est respectivement de 1,46, 1,49 et 1,39 heures. Ce retard se traduit par un non-respect de la disponibilité des chirurgiens qui a été prise en compte lors de l'élaboration du programme opératoire.

Bien que le makespan de la SSPI ait diminué, nous remarquons que le makespan des salles opératoires a augmenté, en moyenne pour les trois tailles de blocs opératoires considérés, de 0,23, 0,14 et 0,23 heures. Dans (Fei *et al.*, 2006), les auteurs ont mentionné que le coût d'ouverture des salles opératoires est supérieur au coût d'ouverture de la salle SSPI. En effet, le rapport entre le coût d'une heure d'ouverture de la salle d'opération et d'une heure

d'ouverture de la SSPI est de 5,8. De ce fait, l'économie réalisée avec cette fonction d'évaluation en termes de durée d'ouverture des SSPI n'est pas suffisante, étant donné que cela va engendrer des durées d'ouverture des salles opératoires plus longues, qui coûtent plus cher. S'ajoute à cela, le retard considérable engendré par cette fonction d'évaluation. Nous proposons alors, avec la troisième fonction d'évaluation, de minimiser les deux critères (makespan et retard) en même temps.

Les simulations effectuées avec la troisième fonction d'évaluation ont permis de tirer profit des qualités que procurent les solutions des deux premières fonctions d'évaluation. En effet, le makespan obtenu avec la troisième fonction d'évaluation est inférieur à celui obtenu avec la première. La différence entre le makespan obtenu avec la première fonction d'évaluation et la troisième, pour les trois tailles de problème traitées, est respectivement de 0,9, 1,23 et 0,41. Le makespan engendré par la troisième fonction d'évaluation est plus proche du makespan minimal obtenu avec la deuxième fonction d'évaluation. La différence entre eux, pour les trois tailles, est respectivement de 0,13, 0,14 et 0,14. Ceci est largement inférieur à la différence entre le makespan de la première et la deuxième fonction objectif.

De plus, la troisième fonction d'évaluation permet de diminuer notablement le retard moyen par rapport à celui engendré lorsque l'on ne minimise que le makespan (deuxième fonction d'évaluation). Avec cette fonction d'évaluation, pour les trois tailles de bloc opératoire, le retard moyen engendré a diminué en moyenne de 0,99, 0,89 et 0,83 heure. En revanche, il est supérieur au retard moyen engendré avec la première fonction d'évaluation, mais la différence est assez faible. En moyenne, la différence entre les deux retards moyens de la première et la troisième fonction d'évaluation est respectivement, pour les trois tailles de bloc considérées, de 0,48, 0,64 et 0,56 heures. Cette fonction d'évaluation est donc un bon compromis pour optimiser les deux critères.

Chacune des fonctions d'évaluation proposées présente des avantages par rapport aux autres. Le choix de la fonction d'évaluation la plus adéquate à adopter pour définir l'ordonnancement dépend des critères définis comme prioritaires selon le responsable du bloc opératoire. Ces critères sont le makespan de la SSPI, le makespan des salles opératoires, le nombre des ressources intervenantes dans le processus opératoire et le retard engendré par rapport au programme opératoire optimal. L'intégration du critère financier peut aider à résoudre ce compromis. Le coût engendré par les solutions proposées peut aider le responsable du bloc opératoire à décider de la solution à adopter.

Tableau 3.2 Résultats pour un bloc opératoire avec 4 salles

N° problème	Brancardiers	Postes de préparation	Salles opératoires	Lits de réveil	Minimiser retard			Minimiser makespan			Minimiser (retard + Makespan)		
					Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires	Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires	Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires
1	3	3	4	5	0,17	9	7,5	1,22	7,75	7,5	0,86	7,75	7,5
2	3	3	4	6	0,13	8,5	7,5	1,55	7,75	7,5	0,86	7,75	7,5
3	3	4	4	5	0,11	9	7,5	1,93	7,75	7,5	0,33	8	7,5
4	3	4	4	6	0,11	9	7,5	1,54	7,75	7,5	0,33	8	7,5
5	3	5	4	5	0,11	9	7,5	1,71	7,75	7,5	0,70	7,75	7,5
6	3	5	4	6	0,11	9	7	1,62	7,75	7,5	0,70	7,75	7,25
7	4	3	4	5	0,11	8,5	7,25	1,37	7,75	7,5	0,70	8	7,25
8	4	3	4	6	0,11	8,5	7,25	1,51	7,75	7,5	0,68	7,75	7,5
9	4	4	4	5	0,00	8,5	7	1,54	7,75	7,5	0,22	8	7,25
10	4	4	4	6	0,00	8,5	7	1,32	7,75	7,5	0,22	8	7
11	4	5	4	5	0,00	8,5	7	1,68	7,75	7,25	0,22	8	7
12	4	5	4	6	0,00	8,5	7	1,34	7,75	7,5	0,67	7,75	7,25
13	5	3	4	5	0,11	8,5	7,25	1,66	8	7,5	0,75	8,25	7,25
14	5	3	4	6	0,11	9	7,5	1,55	7,75	7,5	0,68	7,75	7,5
15	5	4	4	5	0,00	8,5	7	1,61	7,75	7	0,22	8	7
16	5	4	4	6	0,00	8,5	7	1,45	7,75	7,5	0,68	7,75	7,25
17	5	5	4	5	0,00	8,5	7	1,54	7,75	7	0,22	8	7
18	5	5	4	6	0,00	8,5	7	1,34	7,75	7,5	0,66	7,75	7,25

Tableau 3.3 Résultats pour un bloc opératoire avec 5 salles

N° problème	Brancardiers	Postes de préparation	Salles opératoires	Lits de réveil	Minimiser retard			Minimiser makespan			Minimiser (retard + Makespan)		
					Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires	Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires	Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires
1	3	3	4	5	0,20	8,75	7,75	2,02	7,75	7,75	0,72	8	7,75
2	3	3	4	5	0,20	8,75	7,75	1,85	8	7,75	0,99	8	7,75
3	3	4	4	5	0,14	9	7,5	1,50	7,5	7,5	0,62	7,75	7,5
4	3	4	4	6	0,12	8,75	7,25	1,39	7,5	7,5	0,95	7,5	7,5
5	3	5	4	5	0,08	8,75	7,25	1,55	7,5	7,5	0,64	7,75	7,5
6	3	5	4	6	0,04	8,75	7,25	1,55	7,5	7,5	0,70	7,75	7,5
7	4	3	4	5	0,17	9	7,5	1,67	7,75	7,5	1,00	7,75	7,5
8	4	3	4	5	0,14	9	7,5	1,58	7,75	7,5	0,74	7,75	7,5
9	4	4	4	5	0,04	8,75	7,25	1,64	7,5	7,5	0,57	7,75	7,25
10	4	4	4	6	0,04	8,75	7,25	1,35	7,5	7,5	0,57	7,75	7,5
11	4	5	4	5	0,04	8,75	7	1,79	7,5	7,5	0,57	7,75	7,25
12	4	5	4	6	0,04	8,75	7	1,32	7,5	7,25	0,51	7,75	7,25
13	5	3	4	5	0,17	9,25	7,5	1,60	7,75	7,5	0,59	7,75	7,5
14	5	3	4	5	0,14	9	7,5	1,39	7,75	7,5	1,04	7,75	7,5
15	5	4	4	5	0,04	8,75	7,25	1,35	7,5	7,25	0,57	7,75	7,25
16	5	4	4	6	0,04	8,75	7,25	1,34	7,5	7,25	0,57	7,75	7,25
17	5	5	4	5	0,00	8,75	7	2,13	7,5	7,25	0,89	7,5	7,25
18	5	5	4	6	0,00	8,75	7	1,46	7,5	7,25	0,89	7,5	7,25

Tableau 3.4 Résultats pour un bloc opératoire avec 6 salles

N° problème	Brancardiers	Postes de préparation	Salles opératoires	Lits de réveil	Minimiser retard			Minimiser makespan			Minimiser (retard + Makespan)		
					Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires	Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires	Retard moyen (heure)	Makespan	Makespan salles opératoires
1	3	3	4	5	0,20	8,5	7,5	1,63	8,25	7,75	1,01	8,25	7,75
2	3	3	4	5	0,19	8,25	7,5	1,29	8,25	7,75	0,95	8,25	7,75
3	3	4	4	5	0,09	8,25	7,25	1,37	8	7,75	0,80	8	7,25
4	3	4	4	6	0,09	8,25	7,25	1,44	7,75	7,5	1,01	8	7,5
5	3	5	4	5	0,04	8	7,25	1,61	7,5	7,75	0,67	8	7,5
6	3	5	4	6	0,04	8	7,25	1,35	7,5	7,5	0,55	8	7,5
7	4	3	4	5	0,22	8,5	7,5	1,53	8,25	8	0,53	8,25	7,5
8	4	3	4	5	0,18	8,5	7,5	1,84	8,25	7,75	1,03	8,25	7,75
9	4	4	4	5	0,13	8,25	7,25	1,59	8	7,5	0,29	8	7,25
10	4	4	4	6	0,12	8,5	7,25	1,34	7,5	7,25	0,78	7,75	7,25
11	4	5	4	5	0,04	8	7,25	1,84	7,75	7,5	0,36	7,75	7,25
12	4	5	4	6	0,04	8	7,25	1,66	7,5	7,5	0,47	7,75	7,25
13	5	3	4	5	0,12	8,25	7,25	1,50	8	7,5	0,18	8	7,25
14	5	3	4	5	0,12	8,5	7,5	1,26	7,75	7,5	0,46	8	7,5
15	5	4	4	5	0,05	8,25	7,25	1,27	7,75	7,25	0,62	7,75	7,25
16	5	4	4	6	0,04	8	7,25	1,37	7,5	7,25	0,67	7,75	7,25
17	5	5	4	5	0,00	8	7	1,32	7,5	7,25	0,34	7,75	7,25
18	5	5	4	6	0,00	8	7	1,44	7,5	7,25	1,03	7,5	7,25

3.5 Conclusions

Le bloc opératoire est un environnement qui nécessite une grande coopération entre les différentes ressources intervenantes dans le processus chirurgical. A notre connaissance, les travaux existants dans la littérature ayant abordé la problématique d'ordonnancement pour plusieurs ressources ont généralement assimilé ce problème à un flow shop hybride à 2, 3 ou 4 étages, et proposent un ordonnancement sans contraintes préalables et l'ordonnancement est établi pour l'ensemble des ressources considérées simultanément.

Dans ce chapitre, nous avons proposé une nouvelle philosophie de résolution pour le problème d'ordonnancement dans un bloc opératoire. Nous avons proposé un algorithme génétique pour la résolution du problème d'ordonnancement dans le bloc opératoire. L'ensemble des ressources que nous considérons sont assimilées à un flow shop hybride à quatre étages (brancardiers, poste de préparation et d'induction, salles opératoires, lits de réveil) avec une contrainte de blocage de type *RSb* entre les différents étages. La particularité de notre approche est que nous partons d'un programme opératoire initial, établi en respectant les contraintes jugées les plus importantes dans le processus opératoire : capacité des salles opératoires et disponibilité des chirurgiens. Une deuxième particularité est l'étape d'induction et préparation que nous considérons dans le processus opératoire. Nous avons fait ce choix en réponse au besoin de notre partenaire, le bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax, qui est de mettre en place une salle d'induction.

L'algorithme génétique proposé nous a permis de définir les dates de début pour les différentes ressources considérées. En fonction du nombre de ressources disponibles dans les étages en amont et dans les salles opératoires, l'algorithme génétique organise le passage du patient d'un étage à un autre, avec l'objectif de minimiser la différence entre les anciennes et les nouvelles dates de début dans les salles opératoires, afin de respecter au mieux le programme opératoire prévisionnel.

La première fonction d'évaluation, permettant de minimiser le retard par rapport à la solution optimale, nous a permis de dimensionner les ressources en amont des salles opératoires (brancardiers et postes d'induction) nécessaires pour avoir un ordonnancement sans engendrer de modifications dans le programme opératoire prévisionnel. Les expérimentations effectuées nous ont permis de déduire qu'il faut mettre en place un nombre de brancardiers et de postes dans la salle d'induction égal au nombre de salles opératoires pour garantir un respect à 100% du programme opératoire prévisionnel. Concernant le nombre de lits de réveil, nous avons constaté que les recommandations de la SFAR sont convenables pour atteindre notre objectif (avoir un ordonnancement sans retard).

Nous avons également testé une fonction d'évaluation qui a permis de minimiser le makespan. Le retard généré par cette fonction est considérable. De ce fait, nous avons testé une troisième fonction d'évaluation qui nous a permis de s'approcher des avantages des deux premières fonctions d'évaluation.

Dans le chapitre suivant, nous abordons la problématique de l'intégration des urgences dans les programmes opératoires prévisionnels. Les urgences sont considérées comme la source primordiale de perturbation au sein du bloc opératoire. Ce flux imprévisible de patients engendre 69% de modifications dans le programme opératoire prévisionnel (Lafon et Landry, 2001). Nous proposons alors, dans le chapitre suivant, un outil d'aide à la décision permettant de proposer une affectation respectant la pathologie du patient et minimisant des critères définis en fonction de la gravité de l'urgence à affecter.

Chapitre 4

Outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes

4.1 Introduction

Un programme opératoire organise le fonctionnement au sein d'un bloc opératoire. Il permet de préciser les patients à opérer pendant la journée ainsi que les différentes ressources affectées à chaque intervention. Jusqu'ici, dans les chapitres 2 et 3, nous n'avons considéré que les opérations électives. Or, les programmes opératoires établis ne sont souvent pas respectés à cause des différents aléas qui peuvent survenir, telles que l'incertitude dans la prévision des durées opératoires, les complications imprévues au cours des opérations, l'arrivée de cas urgents à opérer dans la journée.

L'incertitude dans la prévision des durées opératoires peut être en partie maîtrisée en utilisant un bon estimateur (Zonderland *et al.*, 2010) ou, lors de l'élaboration du programme opératoire, en ajoutant un intervalle de sécurité à chaque durée opératoire estimée, afin d'éviter les heures supplémentaires (Hans *et al.*, 2008), (Huschka *et al.*, 2008). Par contre, l'arrivée d'opérations urgentes est un flux imprévu que nous ne pouvons pas empêcher et qui est la cause principale de variabilité dans les programmes opératoires prévisionnels. En effet, l'arrivée d'opérations urgentes engendre souvent des modifications dans le programme opératoire déjà établi. Dans (Rossi-Turck, 2002), l'auteur a constaté que 20% des activités au sein du bloc opératoire sont des activités d'urgences. Cette proportion d'opérations non programmées engendre, d'après (Lafon et Landry, 2001), 69% de modifications dans le programme opératoire prévisionnel. Mais, malgré l'importance des aléas, en particulier l'arrivée des opérations urgentes, peu nombreux sont les travaux qui ont abordé ce problème.

Dans cette perspective, un outil d'aide à la décision est proposé dans ce chapitre pour répondre au besoin de gérer ce flux de patients imprévisible. Les patients non électifs considérés sont classés selon leur priorité médicale. Nous distinguons principalement trois classes d'urgence que nous détaillerons ultérieurement.

Nous proposons différentes procédures d'intégration des opérations urgentes dans le programme opératoire prévisionnel. Les procédures proposées respectent la pathologie et la gravité de l'état du patient. Elles permettent également de trouver une affectation qui minimise des critères d'optimisation tels que le nombre d'heures supplémentaires engendrées, et/ou le décalage par rapport aux anciennes dates de début des opérations préalablement programmées.

Dans ce chapitre, nous faisons état des travaux de la littérature ayant abordé la problématique de la gestion des opérations urgentes au sein du bloc opératoire, en se focalisant principalement sur les différentes stratégies d'intégration des opérations non électives. Nous expliquons la classification des patients non électifs que nous adoptons. Pour chacune des classes d'urgence considérées, nous présentons la procédure d'affectation correspondante. A la fin de ce chapitre, nous donnons les résultats que nous avons obtenus avec l'outil d'aide à la décision que nous proposons. Enfin, nous interprétons ces résultats afin de valider cet outil.

4.2 Revue de la littérature concernant la gestion des opérations urgentes

Les services d'urgences ont fait l'objet de plusieurs travaux ces dernières années (Daknou, 2011; Kadri, 2014). Cependant, rares sont les travaux qui se sont focalisés sur les urgences au sein du bloc opératoire. Selon le règlement relatif à l'organisation et au fonctionnement du bloc opératoire de l'hôpital Laval, défini par la loi du Québec (LRQ, 2004), « *Une intervention chirurgicale est urgente lorsque la vie de l'utilisateur est en danger ou risque de l'être, ou que l'utilisateur se trouve dans une condition clinique telle qu'il risque de subir un préjudice grave et permanent à sa santé si l'intervention chirurgicale n'est pas effectuée immédiatement ou dans un court délai.* ».

Dans ce paragraphe, nous faisons état des stratégies mentionnées dans la littérature pour la gestion et l'intégration des opérations urgentes dans un programme opératoire prévisionnel. Le deuxième aspect que nous abordons est la catégorisation des urgences qui arrivent au bloc opératoire.

4.2.1 Stratégies d'intégration des opérations urgentes dans un programme opératoire prévisionnel

Dans la littérature, trois types de stratégies sont utilisées pour gérer les opérations urgentes : stratégie dédiée, flexible ou hybride. Quand la stratégie dédiée est adoptée dans un bloc opératoire, on retrouve une ou plusieurs salles opératoires dédiées à l'usage exclusif des patients qui nécessitent une intervention urgente. Dans ce cas de figure, les deux flux de patients, électifs et non électifs, sont séparés. Quand la stratégie flexible est adoptée, les deux types de flux patients ne sont pas séparés. Les opérations urgentes sont intégrées dans les mêmes salles opératoires que les opérations électives. Cela implique des modifications dans le programme opératoire prévisionnel. La dernière stratégie, hybride, est une combinaison des deux premières. Une ou plusieurs salles opératoires sont dédiées à l'usage exclusif des opérations urgentes, alors que d'autres sont accessibles aux deux types de flux patients. Dans ce qui suit, nous présentons ces stratégies et les différents travaux que s'y réfèrent dans la littérature.

4.2.1.1 Stratégie dédiée

Une ou plusieurs salles opératoires sont consacrées uniquement à la prise en charge des urgences chirurgicales. Des équipes médicales et soignantes complètes sont affectées à ces salles opératoires. Cette stratégie présente l'avantage que l'arrivée des opérations urgentes n'engendre pas de modifications dans le programme opératoire prévisionnel.

Les salles opératoires dédiées améliorent donc l'accès aux soins pour les deux flux de patients (électifs et urgents). Elles améliorent les conditions de travail pour les équipes chirurgicales, car il y a moins d'heures supplémentaires. Elles contribuent également à réduire les reprogrammations (dans d'autres salles opératoires) ou, pour certains cas, les annulations des

opérations électives suite à l'arrivée d'opérations urgentes. Par conséquent, elles améliorent le taux d'utilisation des salles opératoires réservées aux opérations électives. En contrepartie, le taux d'occupation des opérations des salles opératoires dédiées varie entre 24% et 85% (Van Riet et Demeulemeester, 2015). Cela dépend du volume des urgences autorisées à être affectées dans ces salles. En effet, il est important de définir pour quel type d'urgence les salles dédiées sont réservées. Différents cas de figure sont présentés dans la littérature :

- Dans la majorité des travaux, les salles sont réservées pour les opérations non électives sans précisions sur le degré d'urgence (Van Houdenhoven *et al.*, 2007 ; Agnetis *et al.*, 2012 ; Lehtonen *et al.*, 2013 ; Smith *et al.*, 2013).
- L'accès est limité aux urgences orthopédiques traumatologiques (Guerriero et Guido, 2011).
- L'accès est limité aux opérations définies comme étant urgentes et semi urgentes (Cardoen *et al.*, 2010)
- L'accès aux salles dédiées est autorisé à différents degrés d'urgence (Augusto et Xie, 2007 ; Santibáñez *et al.*, 2007).

Le nombre de salles opératoires dédiées aux urgences dépend essentiellement de la taille du bloc opératoire en question (en termes de nombre de salles opératoires), et de la catégorie de patients auxquels sont dédiées ces salles. Il existe différents mécanismes pour définir le nombre de salles opératoires dédiées à l'usage des urgences, mais il n'existe pas de règle générale à adopter dans tous les blocs. Dans la majorité des travaux, les auteurs utilisent la simulation à événements discrets et la théorie des files d'attente pour déterminer le nombre de salles opératoires à allouer. A titre d'exemple, dans les travaux de (Smith *et al.*, 2013), une analyse du régime permanent des files d'attente a permis aux auteurs de déduire qu'il fallait au moins 4 salles opératoires dédiées pour les urgences. Une autre méthode, adoptée dans (Green, 2006 ; Min et Yih, 2014), consiste à diviser la capacité totale requise pour les urgences par la capacité disponible par salle opératoire et à conserver l'entier inférieur. Pour un bloc opératoire composé de 12 salles opératoires, Vissers *et al.* (2001) ont réservé une seule salle opératoire pour les urgences, alors que Leppäniemi et Jousela (2014) ont réservé trois salles opératoires dédiées. De même, pour les travaux de (Agnetis *et al.*, 2012) et (Tanaka *et al.*, 2013), pour deux tailles différentes de bloc opératoire, respectivement 6 et 12 salles opératoires, les auteurs ont réservé une seule salle opératoire.

Outre les salles opératoires, il est également important d'avoir une équipe chirurgicale dédiée aux opérations urgentes. Cette équipe (nommée *on call team*) est généralement composée de chirurgiens, anesthésistes et infirmiers. Dans la majorité des travaux, cette équipe est considérée comme étant disponible. Dans (Stuart et Kozan, 2012), les auteurs proposent que l'équipe dédiée aux urgences soit expérimentée à réaliser les opérations urgentes les plus fréquentes dans toutes les spécialités. Si aucune opération urgente ne se présente, cette équipe s'occupera alors des opérations semi urgentes ou pourra remplacer le personnel absent. Dans (Oostrum *et al.*, 2008), les auteurs ont utilisé un modèle de simulation à événements discrets qui permet d'obtenir la composition optimale de l'équipe chirurgicale dédiée aux opérations urgentes travaillant pendant la nuit. Deux objectifs sont considérés : minimiser le coût de

l'équipe et fournir les soins nécessaires dans un intervalle de temps donné. Les auteurs ont partagé l'horizon de temps considéré en périodes et ont prouvé que la définition de ces intervalles permet de réduire les équipes nécessaires par période, tout en assurant la qualité des soins demandée.

4.2.1.2 Stratégie flexible

Lorsque la stratégie flexible est adoptée, les deux flux de patients (électifs et non électifs) ne sont pas séparés. La capacité des salles opératoires disponibles est partagée entre les deux flux. Dans (Ferrand *et al.*, 2014), les auteurs ont mentionné qu'il existe trois approches différentes pour la stratégie flexible :

Approche 1 : Réserver de la capacité

Une capacité est réservée dans les salles opératoires à la fin du programme opératoire. Cette marge est considérée comme une marge de sécurité pour intégrer les urgences en fin du programme. Il est clair que la réservation de cette marge de sécurité diminue la capacité disponible pour les patients électifs. Il est également probable que, dans certains cas, le besoin en capacité pour les urgences dépasse la capacité réservée et qu'il soit donc nécessaire de modifier le programme opératoire prévisionnel. Certains auteurs ont adopté cette approche dans leurs travaux. Van Houdenhoven *et al.* (2007) ont calculé la capacité à réserver dans toutes les salles du bloc opératoire en se basant sur le temps de réalisation moyen des opérations urgentes et la variance des durées opératoires pour les opérations électives et urgentes. La capacité réservée permet alors d'absorber les variabilités dues, d'une part, aux sous estimations des durées des opérations électives et urgentes et, d'autre part, aux arrivées des opérations urgentes. En utilisant la théorie des files d'attente, Zonderland *et al.* (2010) ont calculé la capacité à réserver dans chaque salle opératoire. Si la capacité réservée pour accueillir les urgences est insuffisante, des opérations électives sont annulées et deviennent des opérations semi urgentes qui devront être affectées avant la fin des deux semaines à venir.

Approche 2 : Insérer des urgences

A l'arrivée d'une opération urgente, il faut attendre la fin d'une opération élective pour pouvoir intégrer l'urgence. Les dates de fin des opérations électives sont appelées « *Break in moments : BIM* ». Le temps d'attente des urgences peut être minimisé en dispersant les *BIM* sur l'horizon de planification. Dans (Van Essen *et al.*, 2012), les auteurs ont considéré le problème à un niveau offline. Lors de l'élaboration du programme opératoire prévisionnel, l'objectif considéré est de minimiser la distance maximale entre deux *BIM* afin de minimiser le temps d'attente des opérations non électives.

Approche 3 : Insérer des intervalles

Cette approche combine les deux premières approches : une capacité inoccupée est réservée pour les urgences et les créneaux réservés aux urgences sont intégrés entre les opérations électives, pas forcément à la fin du programme opératoire. Les créneaux réservés pour les urgences sont propagés dans toutes les salles opératoires, tout au long de la journée, et peuvent

également être de différentes dimensions. Ces intervalles (ou marges de sécurité) peuvent protéger contre l'arrivée d'opérations urgentes et peuvent également être utilisées pour absorber la variabilité des durées des opérations électives.

4.2.1.3 *Stratégie hybride*

Cette stratégie est une combinaison entre les deux premières. Certaines salles sont partagées entre les deux types de flux alors que d'autres sont réservées à l'usage exclusif des opérations non électives. La complexité qui se présente alors, lors de l'adoption de cette stratégie, est de déterminer le bon équilibre entre le nombre de salles opératoires dédiées et flexibles, et de définir les règles d'accès aux salles opératoires (quels types d'urgence dans quelle salle ?). Rares sont les travaux ayant adopté cette stratégie. Ceux de Levztzion-Korach, Murphy et Madden (2010) prouvent qu'en adoptant un système de classification pour les patients non électifs ainsi qu'une stratégie hybride, les heures supplémentaires diminuent, le taux d'occupation s'améliore et le temps d'attente pour les opérations urgentes diminue.

4.2.2 **Classifications des opérations urgentes**

Après avoir rapporté les différentes stratégies adoptées dans la littérature pour la gestion des opérations urgentes, nous nous intéressons maintenant à la classification des patients non électifs. Trouver une bonne base de classification est crucial. Par exemple, on peut classer les urgences selon la spécialité (cardiologie, orthopédie...), selon la gravité de l'état du patient (complexe ou simple), selon le degré de l'urgence, etc. Dans la majorité des travaux, les patients non électifs sont classés en fonction de leur degré d'urgence : émergent, urgent, semi urgent, etc. A chaque terme utilisé, correspond une *deadline* qui représente l'intervalle de temps avant lequel il est conseillé de prendre en charge le patient pour que son état ne s'aggrave pas et que sa vie ne soit pas mise en danger. Selon (Levtzion-Korach *et al.*, 2010), la catégorisation des patients non électifs permet de réduire leur temps d'attente. Dans (Oostrum *et al.*, 2008), les auteurs mentionnent que la définition de *deadline* par classe d'urgence peut augmenter le nombre de patients traités par catégorie.

Le Tableau 4.1 récapitule les différentes désignations utilisées dans différents travaux et leurs *deadlines* correspondantes. Notons que, assez souvent, dans des travaux différents, la valeur de la *deadline* peut être différente pour une même classe d'urgence. Prenons l'exemple des patients dits « *urgents* », dans (Paul et MacDonald, 2012) la *deadline* est de 4 heures alors que dans (Pham et Klinkert, 2008) ces patients devront être pris en charge avant 24 heures. Dans certains travaux, les auteurs n'utilisent pas de désignation particulière (par exemple trauma, add-on, semi urgent, etc.) pour définir une classification des patients urgents. Ils leur affectent plutôt un niveau de priorité qui varie entre 1 et 3 (Heng et Wright, 2013 ; Leppäniemi et Jousela, 2014), ou entre 1 et 5 (Smith *et al.*, 2013).

Tableau 4.1 Différentes catégorisations des opérations non électives (Van Riet et Demeulemeester, 2015)

Catégories	Deadline	Référence
Trauma	Maintenant	Bowers et Mould, 2004
Emergent	< 30 min	Ryckman <i>et al.</i> , 2009 ; Ferrand <i>et al.</i> , 2010 ; Ferrand, 2014
	< 1 h	Barlow <i>et al.</i> , 1993 ; Erdem <i>et al.</i> , 2012 ; Paul et MacDonald, 2012
	< 2 h	Pham et Klinkert, 2008 ; Ryckman <i>et al.</i> , 2009 ; Paul et MacDonald, 2012
	< 6 h	Bhattacharyya <i>et al.</i> , 2006
	< 24 h	Gerchak <i>et al.</i> , 1996 ; Persson et Persson, 2009 ; Tancrez <i>et al.</i> , 2009, 2013 ; Zhang <i>et al.</i> , 2009 ; Rachuba et Werners, 2013
Urgent	< 4 h	Ryckman <i>et al.</i> , 2009 ; Paul et MacDonald, 2012
	< 24 h	Barlow <i>et al.</i> , 1993 ; Bhattacharyya <i>et al.</i> , 2006 ; Pham et Klinkert, 2008
Semi urgent	< 8 h	Ryckman <i>et al.</i> , 2009 ; Paul et MacDonald, 2012
	< 1/2 s	Zonderland <i>et al.</i> , 2010
Add-on	< 24 h	Bhattacharyya <i>et al.</i> , 2006 ; Pham et Klinkert, 2008 ; Ryckman <i>et al.</i> , 2009
Non urgent	< 24 h	Paul et MacDonald, 2012
Work-in	[24 h - 1s]	Ryckman <i>et al.</i> , 2009 ; Smith <i>et al.</i> , 2013
s = Semaine; h = Heure; min = Minute		
Niveau de priorité	Deadline	Référence
P1- P3	< 1 h < 4 h < 12 h	Heng et Wright, 2013
P1- P3	< 8 h < 8 - 24 h < 24 - 48 h	Leppäniemi et Jousela, 2014
P1- P3	< 6h < 24 h < 72 h	Sandbaek <i>et al.</i> , 2014
P1- P5	< 45 min < 2 h < 4 h < 8 h < 24 h	Smith <i>et al.</i> , 2013

Pour récapituler, les interventions d'urgence sont caractérisées par un horizon de planification court, allant de l'instant d'arrivée du patient jusqu'à quelques jours. En restant fidèles à cette logique, pour notre outil d'aide à la décision, nous considérons 3 classes d'opérations non électives, classées selon la pathologie et la gravité de l'état du patient :

- *Classe 1* : Il s'agit des cas les plus urgents (opérations urgentes ou émergentes). Ce sont les interventions pour lesquelles un trop grand délai de prise en charge mettrait en danger la vie de l'utilisateur et compromettrait sa guérison.
- *Classe 2* : Elle regroupe les patients dont l'état peut être stabilisé, mais doivent être planifiés avant la fin de la journée de leur arrivée, le jour de leur arrivée (*urgent case*). Ils sont généralement placés en fin de programme, dans la première salle libre, et ne causent pas de modifications dans le programme établi.
- *Classe 3* : Elle concerne les *add on*, également appelés *work in cases*. Cette classe englobe les patients qui proviennent des services d'urgences, dont l'état tolère une attente de quelques jours, mais qui doivent être programmés avant la fin de la semaine en cours. Dans cette classe, nous retrouvons également des patients électifs dont l'évolution de l'état, avant la date prévue de leur opération, a nécessité des analyses ou des tests supplémentaires qui ont engendré un report de leur intervention. Ces opérations électives reportées seront considérées comme des opérations non électives de classe 3, qui devront être intégrées dans le programme opératoire avant la fin de la semaine en cours.

Nous présentons, dans le paragraphe 4.3, l'outil d'aide à la décision que nous proposons pour la gestion des trois classes d'opérations urgentes que nous considérons dans notre étude.

4.3 Notre approche

La revue de littérature établie nous permet de déduire que les travaux sur la thématique de l'intégration des urgences dans un programme opératoire prévisionnel sont assez rares. Plus rares encore sont les travaux offrant des outils permettant de proposer des affectations en temps réel des urgences, en tenant compte des trois classes d'urgences. Nous mettons à la disposition du gestionnaire du bloc opératoire un outil d'aide à la décision qui, suite à l'arrivée d'une urgence, suggère une affectation qui respecte la pathologie et la gravité de l'état du patient. L'outil proposé utilise la procédure d'affectation qui est fonction de la classe d'urgence. C'est un outil en temps réel, l'évènement considéré est l'arrivée à un instant donné durant la journée d'une demande de prise en charge d'un patient non électif dans le bloc opératoire. La décision à prendre concerne l'acceptation ou non de cette demande qui dépend de la situation courante au sein du bloc opératoire et de la classe d'urgence à laquelle appartient l'état du patient. En utilisant la procédure d'affectation adéquate, l'outil d'aide à la décision propose une affectation qui minimise des critères présentés ultérieurement. Dans ce paragraphe, nous expliquons le fonctionnement de l'outil d'aide à la décision proposé, et présentons les procédures d'affectation correspondantes à chacune des classes d'urgences.

4.3.1 Outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes

Nous supposons que les programmes prévisionnels sont préalablement établis pour la semaine en cours. Le programme opératoire définit l'ordre de passage des patients électifs dans les différentes salles opératoires pour la semaine en cours. Les programmes opératoires considérés sont générés en utilisant le modèle mathématique défini dans le paragraphe 2.2.2.

Les programmes opératoires sont caractérisés par :

- Le nombre d'opérations électives à effectuer durant l'horizon de planification ;
- Le nombre de jours représentant l'horizon de planification ;
- Le nombre de salles opératoires constituant le bloc opératoire considéré et dans lesquelles les opérations sont effectuées ;
- Le nombre de chirurgiens effectuant les opérations électives ;
- Le nombre de périodes représentant la durée d'ouverture régulière des salles opératoires par jour.

Lors de l'élaboration du programme opératoire prévisionnel des opérations électives, nous avons considéré que les salles opératoires sont multifonctionnelles. D'un jour à un autre, elles peuvent accueillir différentes spécialités. Par contre, pendant une même journée, une salle opératoire ne peut accueillir qu'une seule spécialité. Pour l'intégration des opérations non électives dans le programme opératoire prévisionnel, cette hypothèse n'est pas toujours respectée. En effet, un enjeu est plus important : la sécurité et la santé du patient dont l'état ne tolère pas l'attente dans certains cas. De ce fait, nous autorisons, quand c'est nécessaire, d'intégrer une urgence dans une salle opératoire dans laquelle est effectuée une spécialité différente de celle de l'urgence.

La durée d'ouverture est la même pour toutes les salles opératoires pendant tout l'horizon de planification. L'horizon de planification est composé de jours, eux même composés d'un ensemble de périodes. Les durées opératoires sont également exprimées en nombre de périodes. Toutes les opérations électives sont programmées durant les heures d'ouverture régulières du bloc opératoire. Pour l'intégration des opérations urgentes, nous rajoutons un ensemble de périodes, considérées comme étant des heures supplémentaires autorisées. Cet ensemble est le même pour toutes les salles opératoires, pendant tous les jours de l'horizon de planification.

Les programmes opératoires prévisionnels nous permettent de récupérer les dates de début (période et jour) ainsi que les salles des différentes opérations électives programmées. Nous récupérons également les spécialités affectées aux différentes salles opératoires pendant les jours de planification. Notons que la disponibilité des chirurgiens est prise en compte lors de l'élaboration des programmes opératoires prévisionnels. Désormais, nous supposons que les chirurgiens restent disponibles si leurs opérations sont décalées suite à l'arrivée d'une opération urgente. Nous supposons qu'une équipe chirurgicale est dédiée aux interventions urgentes, et qu'elle est disponible tout au long de la durée d'ouverture du bloc opératoire.

Selon la priorité médicale des patients à opérer, nous distinguons principalement trois catégories de patients non électifs (détaillées dans le paragraphe 4.2.2). Certaines notions sont

communes aux différentes urgences, toutes catégories confondues, que nous définissons avant de présenter l'outil d'aide à la décision que nous proposons.

Chaque opération urgente est caractérisée par :

- Le jour d'arrivée ;
- La période d'arrivée ;
- La durée estimée de l'opération ;
- La spécialité ;
- La catégorie d'urgence (la classe).

Selon la classe à laquelle appartient l'urgence, différents critères sont minimisés. Pour les urgences vitales (classe 1), nous minimisons le temps d'attente des patients, qui s'écoule entre leur arrivée et leur affectation. Pour les opérations urgentes de classe 2, nous minimisons deux critères : le nombre d'heures supplémentaires autorisées et le décalage engendré des opérations électives décalées. Pour les opérations appartenant à la troisième classe, nous minimisons le nombre d'heures supplémentaires engendrées.

Suite à l'arrivée d'une opération non élective, l'outil d'aide à la décision propose une affectation selon les critères définis. Le programme opératoire est mis à jour et la nouvelle version est considérée jusqu'à l'arrivée d'un nouvel événement (une nouvelle urgence, une opération opératoire plus longue que prévu). Pour chacune des classes de patients non électifs, nous définissons les procédures d'affectation appropriées que nous présentons en détails dans le paragraphe 4.3.2.1

4.3.2 Procédures d'affectation proposées pour l'affectation des opérations urgentes

Dans cette section, nous présentons les différentes procédures d'affectation que nous proposons, pour chacune des classes d'opérations urgentes. A l'arrivée de chaque opération urgente, selon le diagnostic, la pathologie du patient et la situation courante au sein du bloc opératoire, l'outil d'aide à la décision propose l'affectation adéquate permettant, d'une part, de respecter le degré de gravité de l'état de patient et, d'autre part, de minimiser certains critères relatifs à la catégorie d'urgence.

4.3.2.1 Procédures d'affectation proposées pour les opérations urgentes de classe 1

Les opérations vitales (Classe 1) doivent être programmées au plus tôt. Un des critères considéré pour cette classe d'urgence est le temps d'attente des patients avant affectation. A l'arrivée d'une urgence vitale, deux situations sont possibles :

- 1) Il existe une ou plusieurs salles opératoires dans lesquelles l'opération peut être affectée, c'est-à-dire des salles opératoires avec assez de périodes inoccupées permettant d'affecter l'opération urgente sans dépasser les heures supplémentaires autorisées ;

- 2) Aucune salle ne dispose de suffisamment de périodes inoccupées pour réaliser l'opération urgente, même en tenant compte des heures supplémentaires autorisées

Cas 1 : Il existe une ou plusieurs salles opératoires ayant assez de périodes inoccupées pour pouvoir y intégrer l'urgence

La ou les salles disponibles pour accueillir l'opération urgente peuvent être, soit libres tout de suite pour affecter l'urgence, soit toutes occupées (des opérations électives sont en cours). Si plusieurs salles sont libres, alors la salle avec le taux d'occupation le plus faible sera choisie. Si elles sont toutes occupées, alors celle qui se libère le plus tôt (après la fin de l'opération en cours) sera choisie. Dans les deux cas, les opérations décalées seront réaffectées dans le même ordre.

Cas 2 : Aucune salle ne dispose de suffisamment de périodes inoccupées pour réaliser l'opération urgente, même en tenant compte des heures supplémentaires autorisées

Dans certains cas, à l'arrivée de l'opération urgente, aucune salle ne dispose de suffisamment de périodes libres pour réaliser l'opération urgente, même en tenant compte des heures supplémentaires autorisées. De ce fait, l'affectation de l'opération urgente va engendrer un dépassement des heures supplémentaires autorisées. Etant donné que l'état des patients pour cette classe d'urgence ne tolère aucune attente, alors nous autorisons, dans certains cas, d'annuler une ou plusieurs opérations de classe 3 qui seront reprogrammées ultérieurement.

La première étape est donc de vérifier, dans chacune des salles opératoires, s'il existe des opérations de classe 3 programmées. Trois cas sont possibles :

- Il existe un ensemble d'opérations de classe 3 programmées après l'arrivée de l'opération urgente et la somme des durées opératoires de cet ensemble plus le temps déjà disponible dans la salle opératoire est supérieure ou égale à la durée estimée de l'urgence. Pour pouvoir intégrer l'urgence, l'ensemble des opérations de classe 3 dont la somme de leurs durées plus le temps disponible dans la salle est la plus proche de la durée opératoire estimée de l'urgence sera annulé. L'opération urgente sera introduite dans le programme opératoire sans dépasser les heures supplémentaires autorisées. S'il existe deux ensembles d'opérations de classe 3 de durée équivalente qui peuvent être annulés, alors l'ensemble ayant le nombre minimal d'opérations à annuler sera choisi.
- Il existe des opérations de classe 3 programmées après l'arrivée de l'opération urgente, mais la somme des durées opératoires de ces opérations et du temps déjà disponible dans la salle est inférieure à la durée estimée de l'urgence. Dans ce cas, l'ensemble des opérations de classe 3 sera reporté. L'opération urgente sera intégrée avec dépassement des heures supplémentaires autorisées.
- Aucune opération de classe 3 n'est programmée après l'arrivée de l'urgence. Dans ce cas, l'urgence sera tout de même insérée dans le programme opératoire même si cela engendre un dépassement des heures supplémentaires autorisées.

Les opérations de classe 3 décalées seront reprogrammées en utilisant la procédure d'affectation expliquée dans le paragraphe 4.3.2.3.

L'organigramme suivant Figure 4.1 synthétise la démarche utilisée. SO signifie salle opératoire et HSA heures supplémentaires autorisées.

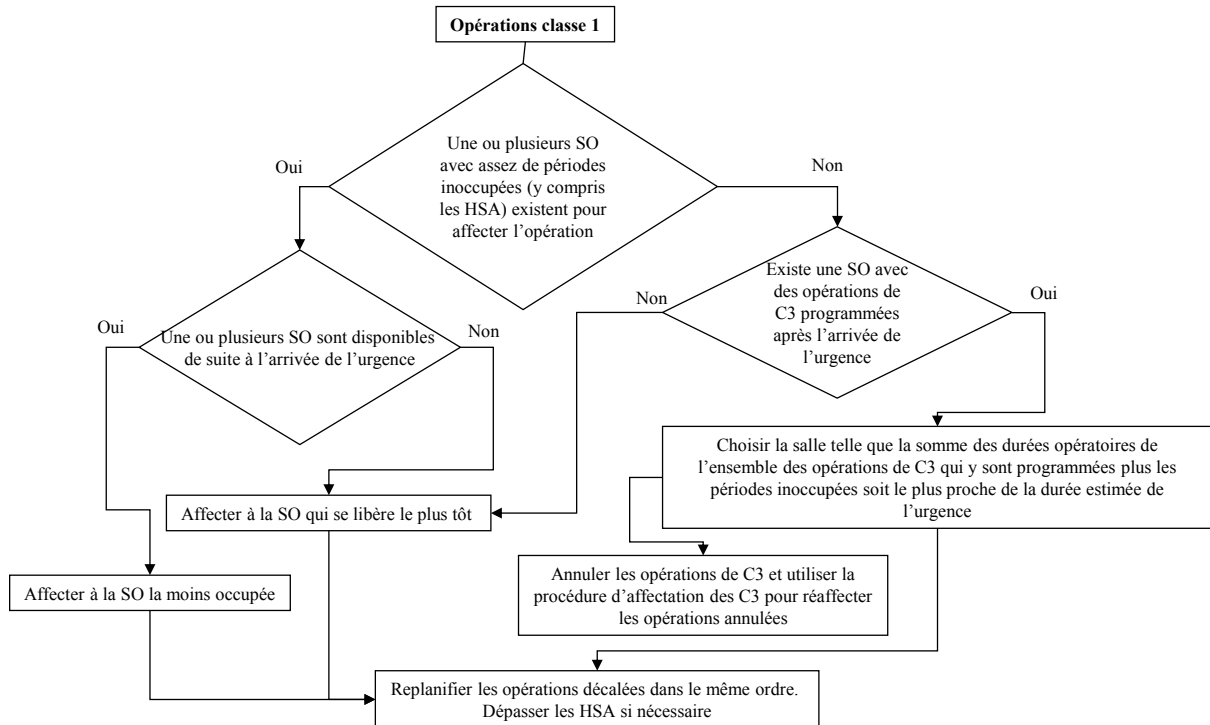


Figure 4.1 Procédure d'affectation pour les opérations urgentes de Classe 1

4.3.2.2 Procédures d'affectation proposées pour les opérations urgentes de classe 2

Les urgences de classe 2 regroupent les opérations devant être effectuées avant la fin de la journée en cours. Lors de l'admission, l'état du patient peut être stabilisé, ce qui offre au gestionnaire du bloc un intervalle de temps pour décider de l'affectation la plus adéquate.

Les questions que nous nous posons sont les suivantes :

- Quelle approche est la plus adéquate : les intégrer à la fin du programme opératoire, les intégrer dans les *BIM* ?
- Le gestionnaire du bloc opératoire devra-t-il adopter une seule et unique approche suite à l'arrivée de toutes les urgences de cette classe, ou devra-t-il, selon la situation, adopter celle qui offre une meilleure solution (heure d'arrivée, taux d'occupation...) ?

Pour répondre à ces questions, nous proposons au gestionnaire du bloc opératoire quatre stratégies différentes pour l'affectation des urgences de cette classe :

- Stratégie 1 : Affecter dans une salle de même spécialité ;
- Stratégie 2 : Affecter dans la salle présentant le taux d'occupation le plus faible ;
- Stratégie 3 : Affecter dans des périodes inoccupées sans décalage ;

- Stratégie 4 : Affecter à la fin du programme de la journée.

L'outil développé permet de comparer les affectations proposées par chacune des stratégies en donnant deux indicateurs : les heures supplémentaires engendrées et le décalage des opérations électives par rapport à leurs anciennes dates de début. La solution retenue est celle qui engendre le moins d'heures supplémentaires et le moins de décalage.

Comme le montre la Figure 4.2, dans certaines situations, les quatre stratégies proposées ne nous permettent pas d'obtenir d'affectation. Dans ce cas, une cinquième stratégie pourra être utilisée. Dans la suite, nous présentons chacune des stratégies que nous proposons.

Stratégie 1 : Affecter dans une salle de même spécialité

Rappelons qu'une des hypothèses considérées pour générer les programmes opératoires prévisionnels est que, pendant une journée donnée, chaque salle opératoire ne peut accueillir qu'une seule spécialité. La première stratégie proposée, illustrée par la Figure 4.3, consiste à proposer une affectation pour l'opération urgente dans une salle opératoire dans laquelle s'effectuent des opérations ayant la même spécialité que l'urgence.

La première étape de cette procédure d'affectation consiste à vérifier s'il existe une ou plusieurs salles opératoires dans lesquelles la même spécialité que l'urgence est affectée.

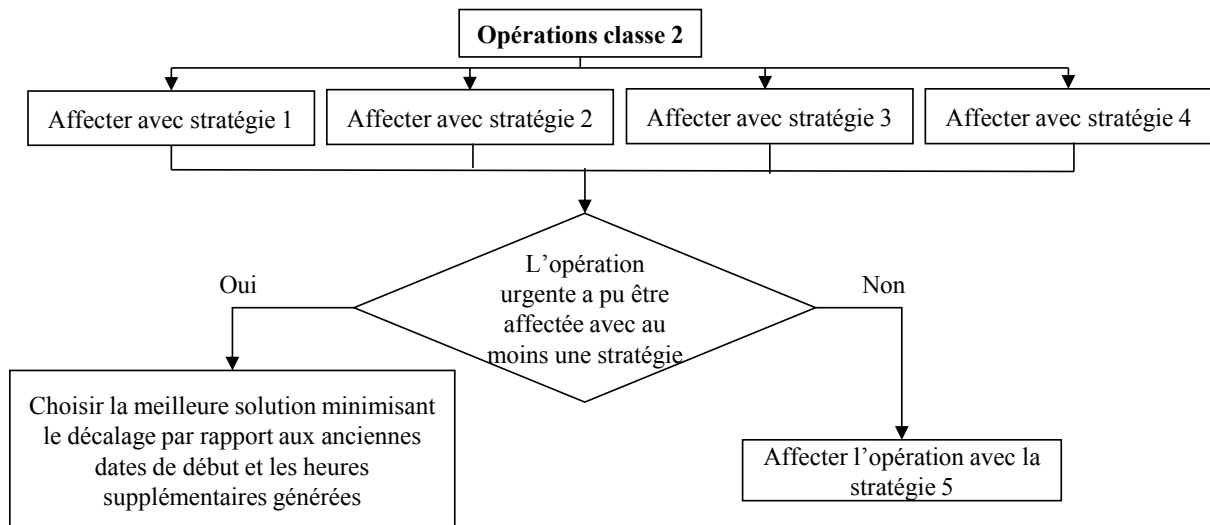


Figure 4.2 Procédure d'affectation pour les opérations urgentes de Classe 2

Deux cas sont possibles :

- Si il existe une ou plusieurs salles opératoires ayant la même spécialité que l'urgence et avec suffisamment de périodes inoccupées (y compris les HSA), alors elle sera

affectée à la salle avec le taux d'occupation le plus faible, après la fin de l'opération en cours.

- Sinon, il n'est pas possible d'obtenir une affectation avec cette stratégie. En effet, soit il n'existe aucune salle opératoire ayant la même spécialité que l'urgence, soit il existe une ou plusieurs salles opératoires ayant la même spécialité que l'urgence, mais elles n'ont pas assez de disponibilités pour placer l'opération.

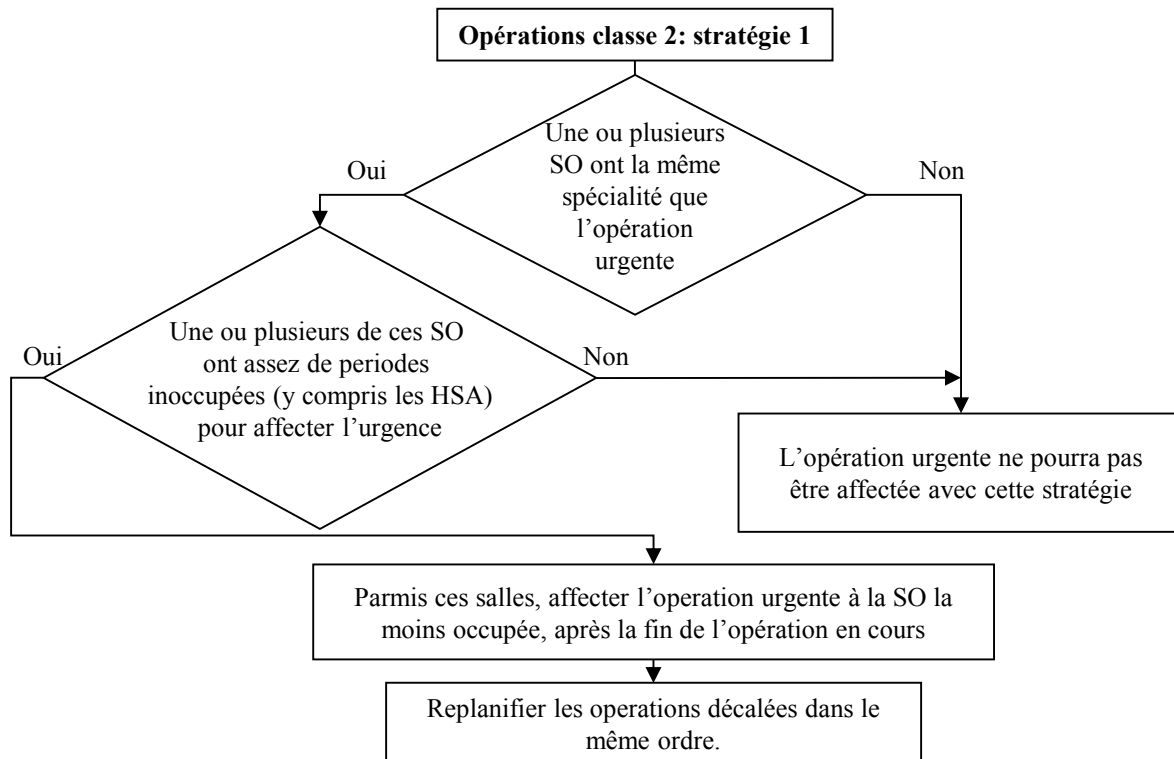


Figure 4.3 Stratégie 1 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2

Stratégie 2 : Affecter dans la salle présentant le taux d'occupation le plus faible

La deuxième procédure d'affectation proposée consiste à affecter l'opération urgente dans la salle opératoire la moins occupée, quelle que soit la spécialité effectuée dans cette dernière. Si toutes les salles opératoires sont occupées jusqu'aux heures supplémentaires autorisées, alors aucune affectation ne sera proposée par cette stratégie. Nous illustrons cette procédure d'affectation dans la Figure 4.4.

Stratégie 3 : Affecter dans des périodes inoccupées sans décalage

L'objectif de la troisième stratégie (Figure 4.5) est de proposer une affectation qui ne génère pas de décalage pour les opérations électives préalablement affectées. Si d est la durée estimée de l'urgence, il faut trouver d périodes inoccupées consécutives pour réaliser cette urgence.

Deux situations sont envisageables :

- Il existe au moins une salle avec un ensemble de d périodes inoccupées consécutives. L'urgence sera intégrée dans la salle ayant les d périodes les plus proches (en termes de nombre de périodes) de la durée estimée de l'opération urgente.
- S'il n'existe aucune séquence de périodes inoccupées suffisamment longue, alors aucune affectation ne sera proposée par cette stratégie.

Stratégie 4 : Affecter à la fin du programme de la journée

La quatrième stratégie, illustrée par la Figure 4.6, consiste à affecter l'urgence à la fin du programme opératoire de la journée, afin d'éviter les décalages générés pour les opérations électives déjà programmées. Il existe deux situations différentes :

- Il existe au moins une salle opératoire pouvant accueillir l'urgence en fin de programme, c'est à dire ayant suffisamment de périodes disponibles, y compris les heures supplémentaires autorisées. L'urgence sera affectée dans la salle opératoire qui se libère le plus tôt. Si deux salles se libèrent en même temps, la priorité sera donnée à la salle de même spécialité que l'urgence.
- Si toutes les salles opératoires sont occupées jusqu'à la fin des heures supplémentaires autorisées, alors aucune affectation ne sera proposée par cette stratégie.

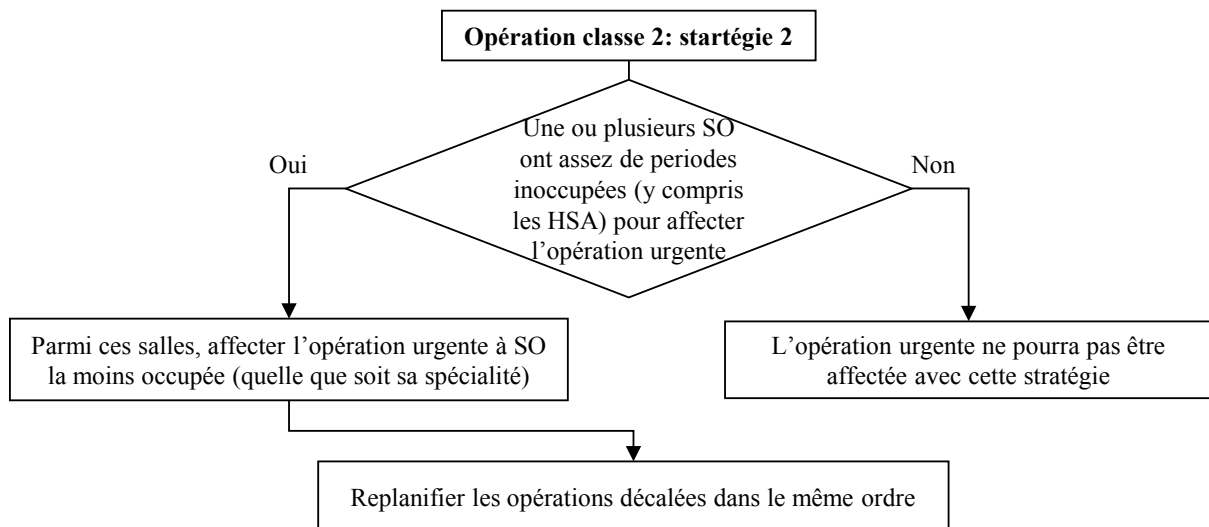


Figure 4.4 Stratégie 2 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2

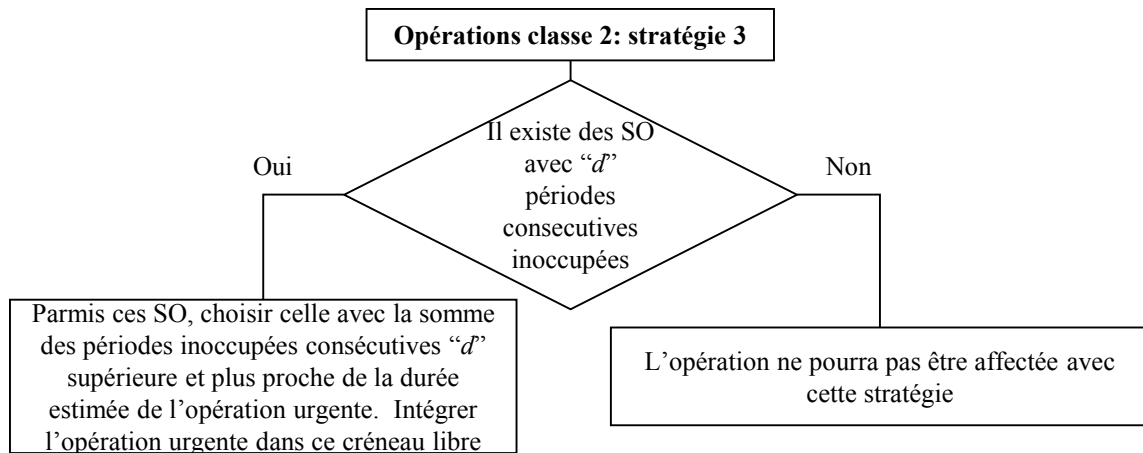


Figure 4.5 Stratégie 3 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2

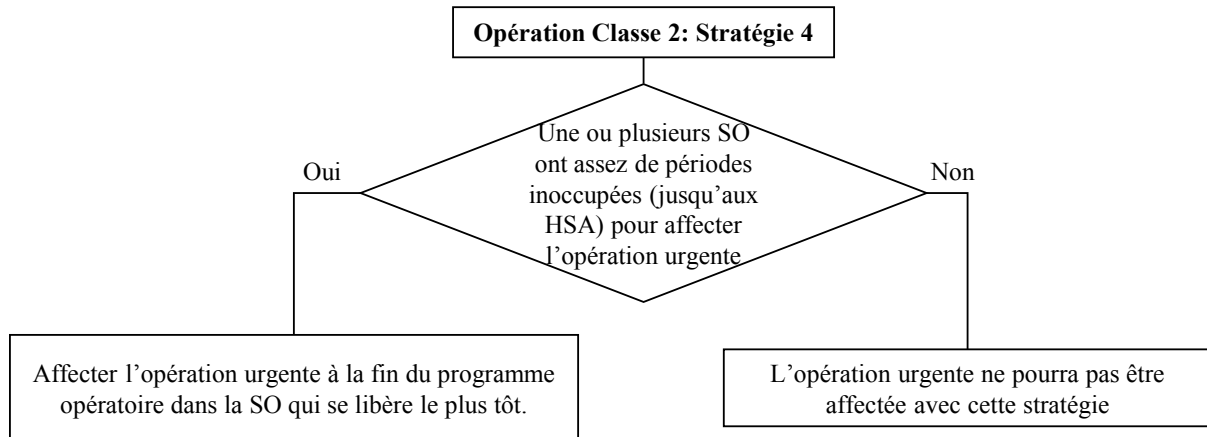


Figure 4.6 Stratégie 4 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2

Stratégie 5

Pour les quatre stratégies proposées ci-dessus, il existe toujours des cas de figure où il est impossible de proposer une affectation. Nous proposons alors une cinquième stratégie pour pouvoir affecter l'urgence (Figure 4.7). Etant donné que les patients de cette classe doivent être opérés avant la fin de la journée en cours, nous autorisons d'annuler une ou plusieurs opérations qui seront reprogrammées ultérieurement. Les opérations à reprogrammer sont des opérations de classe 3, dont l'état du patient tolère une attente jusqu'à la fin de la semaine en cours.

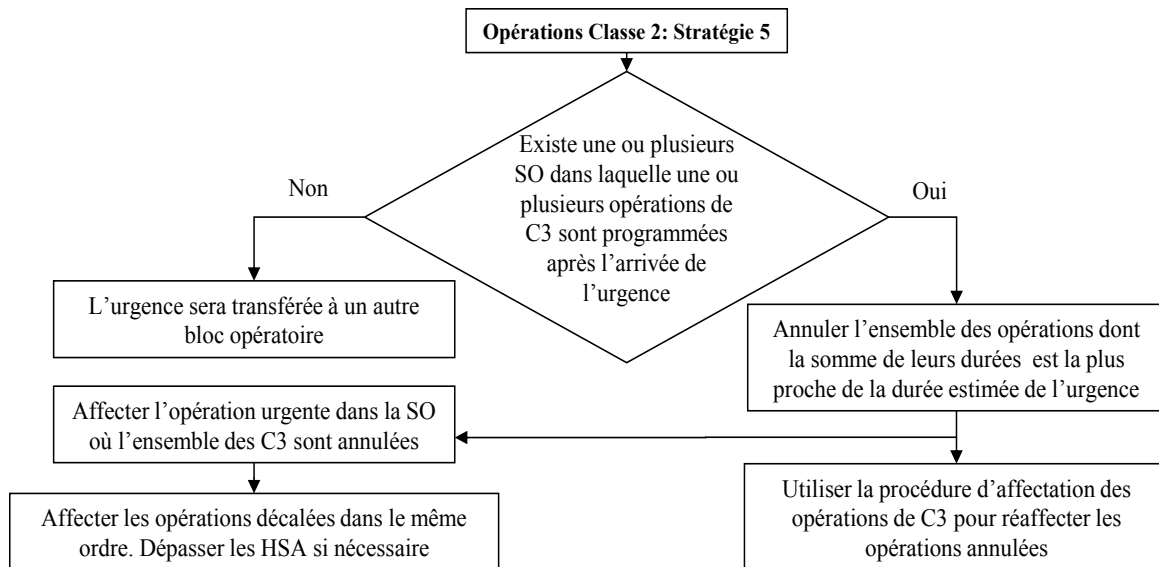


Figure 4.7 Stratégie 5 pour l'affectation des opérations urgentes de Classe 2

Ainsi, la première étape est de vérifier, dans chacune des salles opératoires, s'il existe des opérations de classe 3 programmées. Deux cas sont possibles :

- Il existe un ensemble d'opérations de classe 3 programmées après l'arrivée de l'opération urgente. La somme des durées opératoires de cet ensemble plus le temps libre de la salle est supérieure ou égale à la durée estimée de l'urgence. Pour pouvoir intégrer l'urgence, le nombre nécessaire d'opérations de classe 3 dont la somme des durées est la plus proche de la durée opératoire estimée de l'urgence sera annulée. L'opération urgente sera introduite dans le programme opératoire, sans dépasser les heures supplémentaires autorisées.
- La somme des durées des opérations de classe 3 programmées après l'arrivée de l'opération urgente est inférieure à la durée de l'urgence estimée : contrairement aux urgences de classe 1, nous n'autorisons pas le dépassement des heures supplémentaires autorisées et l'urgence sera transférée à un autre bloc opératoire.

A noter que l'ensemble des opérations de classe 3 décalées seront reprogrammées en utilisant la procédure d'affectation expliquée dans le paragraphe 4.3.2.3.

4.3.2.3 Procédures d'affectation proposées pour les opérations urgentes de classe 3

Les opérations de classe 3 sont les opérations dont l'état du patient tolère une attente jusqu'à la fin de l'horizon de planification du programme opératoire considéré, en général la fin de la semaine en cours. L'intégration de cette catégorie d'opérations ne doit pas engendrer de modifications dans le programme opératoire prévisionnel. De ce fait, toutes les opérations de classe 3 sont intégrées à la fin des programmes opératoires journaliers, dans la salle opératoire qui se libère le plus tôt.

A partir du jour d'arrivée de l'urgence, les heures de libération des salles opératoires sont comparées de jour en jour. Pour le premier jour, s'il existe des salles opératoires pouvant accueillir l'urgence, alors les heures de libération de ces salles sont comparées. L'opération sera affectée à la salle qui génère le moins d'heures supplémentaires. Si deux salles opératoires se libèrent au même instant, priorité est donnée à la salle de même spécialité que l'urgence. Si toutes les salles opératoires sont occupées pendant la journée, alors il faut passer à la journée suivante. Si toutes les salles opératoires sont occupées jusqu'à la fin de la semaine en cours, nous laissons la décision au responsable du bloc opératoire. Soit l'opération est reportée à la semaine suivante (si l'état du patient le permet), soit le patient est transféré à un autre bloc opératoire. La procédure d'affectation proposée est illustrée par la Figure 4.8.

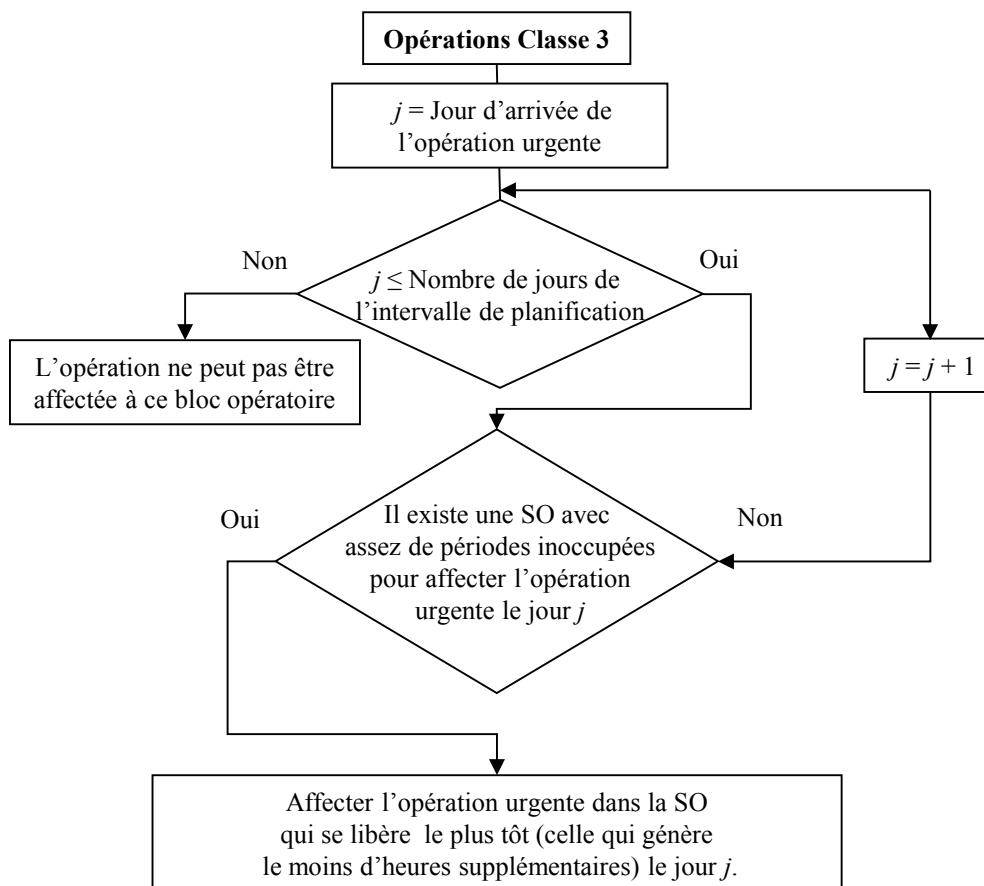


Figure 4.8 Procédure d'affectation pour les opérations urgentes de Classe 3

4.4 Expérimentation

Dans cette partie, nous exposons les expérimentations effectuées avec l'outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes. Pour la réalisation de ces expérimentations,

le modèle proposé a été implémenté dans le logiciel Xpress-MP, et a été testé sur un PC Core i7 CPU 2.6GHz.

Nous avons généré aléatoirement 10 instances, pour chacune des 3 configurations de tailles différentes. Elles comportent respectivement 15, 20 et 25 urgences et sont composées des trois classes d'urgences. Les nombres d'urgences de chaque classe sont détaillés dans le Tableau 4.2.

Tableau 4.2 Nombres d'urgences générées pour chaque classe

Configuration	Nb total d'urgences	Classe 1 NbC1	Classe 2 NbC2	Classe 3 NbC3
A	15 urgences	Entre 0 et 4	Entre 0 et 7	$15 - (\text{NbC1} + \text{NbC2})$
B	20 urgences	Entre 0 et 6	Entre 0 et 10	$20 - (\text{NbC1} + \text{NbC2})$
C	25 urgences	Entre 0 et 7	Entre 0 et 13	$25 - (\text{NbC1} + \text{NbC2})$

Nous considérons un bloc opératoire composé de quatre salles opératoires, dans lesquelles sont planifiées des opérations appartenant à 5 spécialités différentes, pendant un horizon de planification d'une semaine (équivalent à 5 jours). La durée d'ouverture des salles opératoires est de 7 heures, soit 28 périodes (une période représente 15 minutes). En plus des durées d'ouverture régulières, pour chaque salle opératoire, nous définissons un intervalle d'heures supplémentaires de deux heures par jour. Exceptionnellement, pour les urgences vitales, nous autorisons le dépassement des heures supplémentaires autorisées. A cette fin, nous rajoutons un intervalle d'une heure.

Pour toutes les urgences, nous générons aléatoirement le jour, la période de leur arrivée et leur spécialité. Nous générons également leur durée opératoire selon les lois de distribution définies dans le Tableau 2.5, qui dépendent de la spécialité de l'urgence. Les urgences sont également caractérisées par une classe.

Nous avons également généré 5 programmes opératoires dont le taux d'occupation est croissant (détaillés dans la colonne 3 du Tableau 4.3). Ces programmes prévisionnels sont générés en utilisant l'heuristique donnée dans le paragraphe 2.2.3.

Pour chacune des configurations, nous avons analysé l'impact de l'affectation des 10 instances d'urgences générées sur les cinq programmes opératoires. Nous présentons dans le Tableau 4.3 la variation moyenne des taux d'occupation et le pourcentage moyen des opérations urgentes affectées par classe d'urgence. Le taux d'occupation est calculé par rapport à la durée d'ouverture, sans les heures supplémentaires.

L'outil proposé a réussi à affecter 100% des urgences vitales, quels que soient le nombre d'urgences intégrées et le taux d'occupation initial. Ceci montre l'efficacité de la procédure d'affectation que nous avons proposée pour cette classe, dont l'objectif est d'assurer une affectation au plus tôt pour éviter la dégradation de l'état critique des patients.

Pour les opérations urgentes de classe deux, le pourcentage des opérations affectées varie entre 95% et 100%. Pour les cinq programmes opératoires dont le taux d'occupation varie entre 73% et 83%, il est possible d'intégrer 100% des urgences de cette classe pour les configurations à 15 urgences. Au-delà, pour les configurations à 20 et 25 urgences, le pourcentage des urgences affectées diminue de plus en plus jusqu'à atteindre 95%.

L'outil n'a réussi à affecter 100% des urgences de la classe 3 que pour le premier programme opératoire ayant un taux d'occupation de 73%, et pour une configuration composée de 15 urgences. A partir d'un taux d'occupation de 76%, il devient impossible d'intégrer la totalité des opérations de cette classe.

Tableau 4.3 Variation des taux d'occupations après l'intégration des opérations urgentes et pourcentage des opérations affectées par classe d'urgence

		Taux d'occupation avant intégration des urgences	Taux d'occupation après intégration des urgences	% urgences C1 affectées	% urgences C2 affectées	% urgences C3 affectées
15 Urgences	PO 1	0,736	0,907	100	100	100
	PO 2	0,762	0,945	100	100	98
	PO 3	0,78	0,961	100	100	96
	PO 4	0,802	0,987	100	99	94
	PO 5	0,834	1,022	100	99	94
20 Urgences	PO 1	0,736	0,978	100	100	98
	PO 2	0,762	1,01	100	99	95
	PO 3	0,78	1,03	100	98	94
	PO 4	0,802	1,05	100	98	94
	PO 5	0,834	1,073	100	97	93
25 Urgences	PO 1	0,736	1,024	100	98	95
	PO 2	0,762	1,056	100	97	93
	PO 3	0,78	1,074	100	96	93
	PO 4	0,802	1,092	100	96	92
	PO 5	0,834	1,119	100	95	89

Nous observons également, dans le Tableau 4.3, la variation du taux d'occupation après intégration des urgences. Comme attendu, pour un même taux d'occupation initial, plus le nombre d'urgences à intégrer est important, plus le taux d'occupation, après intégration des urgences, augmente. De même, pour un même nombre d'urgences intégrées, plus le taux d'occupation des programmes opératoires augmente, plus le taux d'occupation après affectation va également augmenter. De même, plus le taux d'occupation avant intégration des urgences est élevé, plus faible seront les taux d'affectations respectifs des urgences de classe 2 et classe 3.

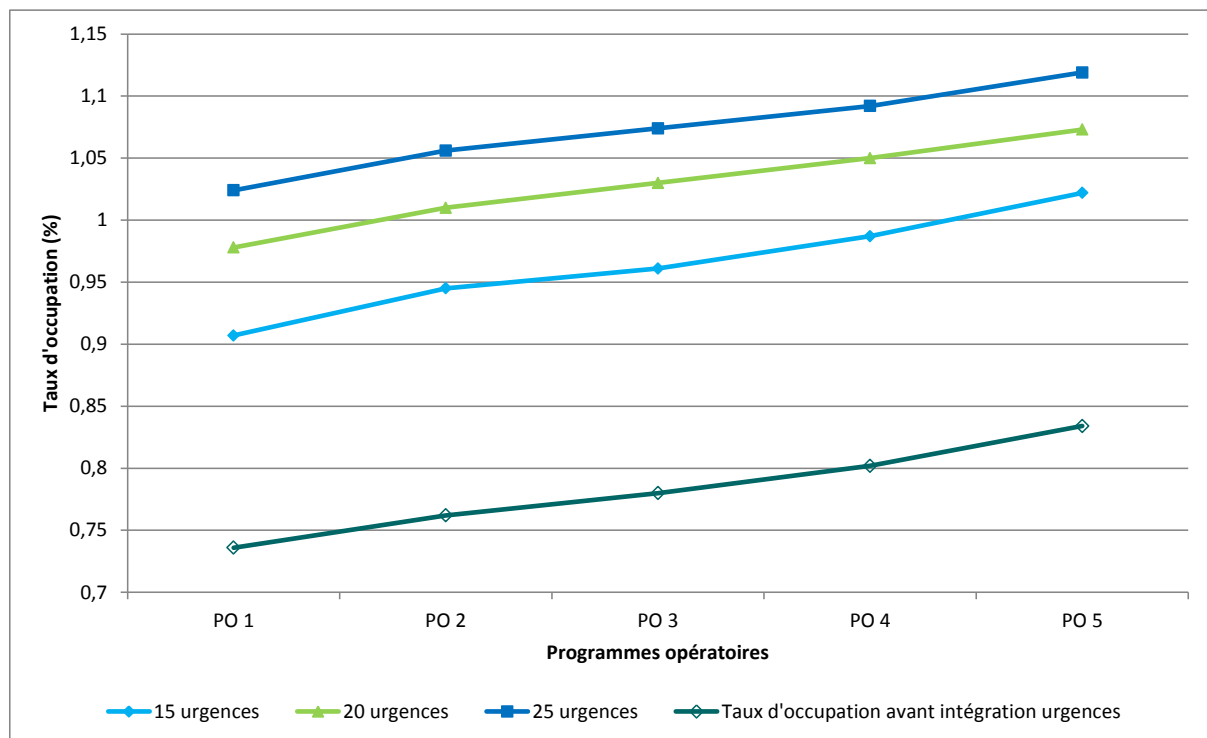


Figure 4.9 Variation du taux d'occupation après intégration des opérations urgentes

Dans la Figure 4.9, nous présentons l'évolution des taux d'occupation pour les trois configurations d'urgences en fonction des différents programmes opératoires. L'outil que nous proposons permet de déduire pour un taux d'occupation initial, à partir de quel nombre d'urgences un programme opératoire engendre des heures supplémentaires et dépasse les heures régulières de travail. Par conséquent, en plus de la proposition de solution en temps réel, l'outil permet également d'estimer la capacité d'un bloc opératoire, en fonction de la situation courante, à accueillir des urgences.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons plus en détails les résultats que nous avons obtenus pour les différentes classes d'urgences.

4.4.1 Résultats pour les urgences vitales

Pour une urgence vitale, l'état du patient requiert une prise en charge rapide. Par conséquent, l'indicateur le plus important pour cette classe est le temps d'attente avant affectation (colonne (1) du Tableau 4.4.

Si on considère toutes les tailles de problèmes, le temps d'attente moyen d'une urgence vitale avant son affectation est de 0,64 heure (38 minutes). Par ailleurs, si l'on observe le temps d'attente pour les trois tailles de configurations (15, 20 et 25 urgences), les moyennes d'attente sont, respectivement de 32, 38 et 44 minutes. Comme attendu, plus le nombre d'urgences augmente, plus le temps d'attente du patient augmente.

Tableau 4.4 Résultats pour les urgences vitales (Classe 1)

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
15 Urgences	PO 1	0,45	0,6	0	1,8	0	0
	PO 2	0,52	0,68	0	1,9	0	0
	PO 3	0,51	0,69	0,02	1,98	0	0
	PO 4	0,61	0,88	0,01	2,03	2	2
	PO 5	0,64	1,09	0,04	2,05	2	2
20 Urgences	PO 1	0,52	0,9	0,01	2,03	2	2
	PO 2	0,66	0,85	0,02	2,07	2	1
	PO 3	0,62	1,03	0,02	2,12	1	1
	PO 4	0,68	1,08	0,03	2,19	2	2
	PO 5	0,71	1,17	0,03	2,22	3	2
25 Urgences	PO 1	0,59	0,96	0,03	2,71	2	2
	PO 2	0,74	1,04	0,04	2,76	5	3
	PO 3	0,71	1,14	0,05	3,06	5	2
	PO 4	0,81	1,17	0,05	3,19	6	0
	PO 5	0,83	1,34	0,09	3,36	8	0
(1)	Temps moyen d'attente (heure)						
(2)	Nombre moyen d'heures supplémentaires autorisées (heures)						
(3)	Nombre moyen d'heures supplémentaires non autorisées (heures)						
(4)	Temps moyen de décalage par rapport aux anciennes dates de début (heure)						
(5)	Nombre total d'opérations de classe 3 reportées pour les 10 exemples						
(6)	Nombre total d'opérations de classe 3 réaffectées pour les 10 exemples						

D'autre part, pour un même nombre d'urgences à intégrer dans différents programmes opératoires, le temps d'attente n'augmente pas forcément en fonction du taux d'occupation. Prenons l'exemple du temps d'attente pour les programmes opératoires 2 et 3 (Figure 4.10). Bien que le taux d'occupation initial du PO 3 soit supérieur à celui du PO 2, le temps d'attente moyen des urgences de classe 1 a diminué. Cela s'explique par le fait que le temps d'attente

dépend de la situation courante dans le bloc. Si l'arrivée de l'urgence coïncide avec la date de fin d'une opération, son temps d'attente est nul. Si elle survient alors qu'il y a des opérations de durées importantes en cours dans les salles, alors son temps d'attente va être plus élevé. Tous ces facteurs influencent le temps d'attente des urgences avant affectation. Ceci a fait l'objet des travaux de Van Essen *et al.* (2012). En minimisant la distance entre les BIM (dates de fin des opérations électives), les auteurs ont réussi à minimiser le temps d'attente des opérations non électives.

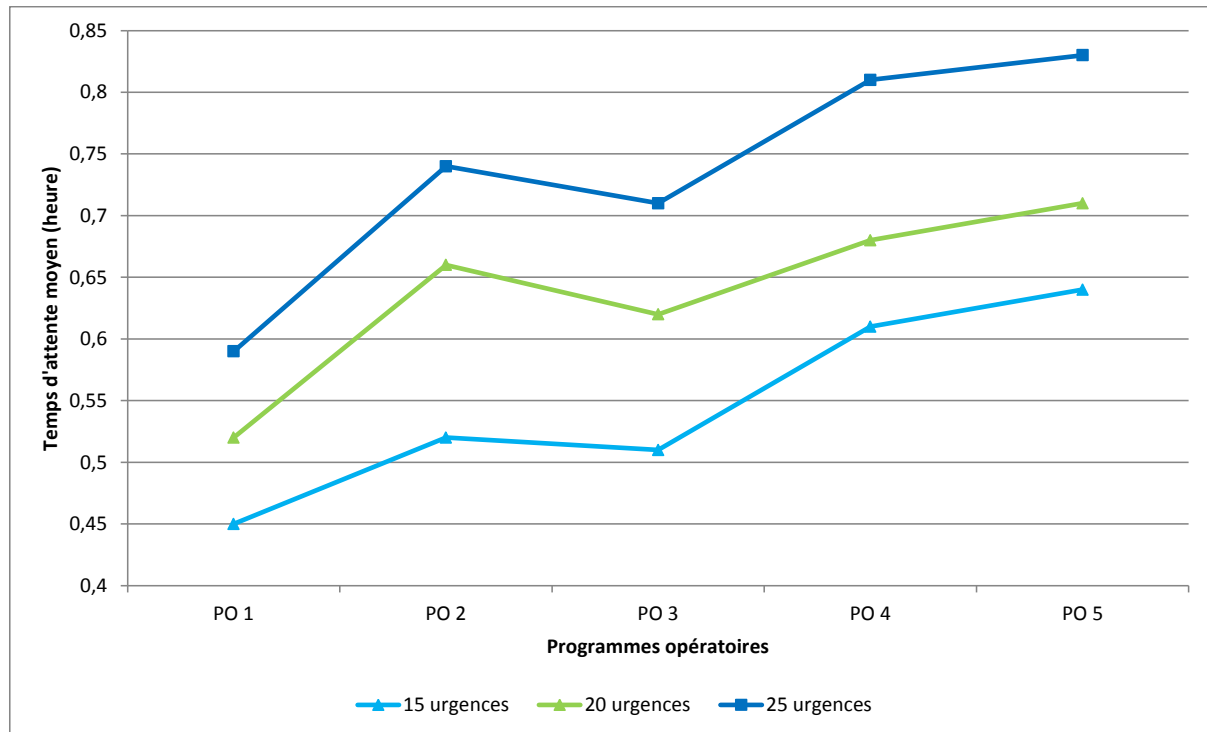


Figure 4.10 Variation du temps d'attente moyen des opérations vitales avant affectation

La moyenne des heures supplémentaires autorisées engendrée, est de 0,97 heures (58 minutes). En observant la colonne (2) du Tableau 4.4, nous remarquons que l'augmentation des heures supplémentaires autorisées dépend du taux d'occupation des programmes opératoires et du nombre d'urgences à intégrer. Il en est de même pour le décalage par rapport aux anciennes dates de début (colonne (4) du Tableau 4.4). Avec cet indicateur, nous avons calculé la somme des décalages des opérations électives engendrés suite à l'intégration d'une urgence. La valeur moyenne, pour tous les problèmes traités, est de 2,36 heures. Cette moyenne est assez importante, mais peut être justifiée par le caractère vital des urgences intégrées.

Rappelons que pour cette catégorie, nous avons exceptionnellement autorisé le dépassement des heures supplémentaires autorisées. En moyenne, les heures supplémentaires de dépassement exceptionnel sont de 0,03 heure (1,8 min), ce qui est très faible.

La colonne (5) indique le nombre total d'opérations de classe 3 reportées pour les 10 instances exécutées pour chacune des tailles et la colonne (6) donne le nombre d'opérations de classe 3 qui ont réussi à être réintégrées dans le programme. Pour le premier sous ensemble de problèmes (intégration de 15 urgences), toutes les opérations reportées ont pu être réintégrées. Pour le deuxième sous ensemble (intégration de 20 urgences), uniquement deux opérations sur dix n'ont pas pu être réintégrées. Enfin, pour le troisième sous ensemble, nous remarquons non seulement que le nombre d'opérations reportées a considérablement augmenté (26 par rapport à 10 et 4 dans les deux premières configurations), mais également que l'outil d'aide à la décision trouve de plus en plus de difficultés pour réintégrer ces opérations reportées (uniquement 7 des 26 reportées). Deux raisons sont à l'origine de ces non affectations. La première est que les salles opératoires sont occupées et qu'il n'existe plus de périodes pour y intégrer ces opérations reportées. La deuxième est que les opérations annulées le dernier jour de la semaine ne sont pas réintégrées dans le programme opératoire considéré, mais reportées à la semaine suivante.

4.4.2 Résultats pour les urgences de Classe 2

Les urgences de cette classe tolèrent une attente jusqu'à la fin de la journée en cours, car l'état des patients peut être stabilisé. Cela offre au responsable du bloc une flexibilité pour trouver la meilleure solution pour intégrer l'urgence, tout en essayant de perturber au minimum le programme opératoire prévisionnel. Nous avons proposé quatre stratégies d'affectation différentes pour cette classe. Nous en avons également défini une cinquième, qui ne sera utilisée que si les quatre premières ne fournissent pas de solution.

La perturbation du programme opératoire se traduit en heures supplémentaires engendrées et en décalage des opérations électives programmées par rapport à leurs anciennes dates de début. De ce fait, la comparaison des solutions proposées par les différentes stratégies s'effectue sur la base de ces deux critères.

A l'arrivée d'une opération urgente, une solution « provisoire » est proposée par les stratégies ayant réussi à affecter l'opération. L'outil compare le nombre d'heures supplémentaires engendrées et retient celle entraînant le minimum d'heures supplémentaires. Si deux stratégies donnent le même nombre d'heures supplémentaires, celle avec le moins de décalage engendré sera retenue. Le programme opératoire prévisionnel sera mis à jour avec cette solution.

Dans le Tableau 4.5, nous présentons les résultats obtenus pour les quatre premières stratégies. Dans la première colonne, nous présentons le nombre moyen d'heures supplémentaires engendrées. La deuxième présente le décalage moyen des opérations électives retardées par rapport à leurs anciennes dates de début. Dans la troisième colonne, nous indiquons le pourcentage de solutions proposées par chacune des stratégies. En effet, les stratégies ne sont pas aptes à proposer des résultats pour toutes les urgences à affecter. Par exemple, la stratégie 1 affecte les urgences dans une salle de même spécialité. S'il n'existe pas de salle de même spécialité, ou encore, si elle existe mais qu'elle est occupée jusqu'à la fin des heures supplémentaires autorisées, alors cette stratégie ne pourra pas proposer de solution.

Tableau 4.5 Résultats pour les urgences de classe 2 (les quatre premières stratégies)

		Stratégie 1						Stratégie 2				Stratégie 3				Stratégie 4			
		(1)	(2)	(3)	(4)	% non affectation avec cette stratégie (%)		(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
						SMSOQ	PSMS												
15 Urgences	PO 1	0,64	1,62	57	22	67,4	32,6	0,19	0,96	95	34	0	0	47	16	0,44	0	93	28
	PO 2	0,74	1,67	52	21	67,86	32,14	0,22	1,31	93	32	0	0	45	17	0,48	0	91	30
	PO 3	0,88	1,75	50	21	76	24	0,25	1,4	91	33	0	0	40	16	0,51	0	90	30
	PO 4	0,9	1,82	42	21	80	20	0,27	1,44	97	31	0	0	40	18	0,59	0	95	29
	PO 5	1,08	2,33	40	16	82,86	17,14	0,58	1,88	90	38	0	0	17	9	0,86	0	88	35
20 Urgences	PO 1	0,86	1,72	58	19	69	31	0,52	1,68	97	35	0	0	30	14	0,64	0	96	32
	PO 2	0,89	1,94	51	15	73	27	0,65	1,71	95	40	0	0	25	13	0,76	0	94	30
	PO 3	0,98	2,33	49	13	76,6	23,4	0,76	1,74	94	39	0	0	24	9	0,8	0	93	36
	PO 4	1,01	2,4	38	15	82,5	17,5	0,78	1,99	91	41	0	0	21	10	0,86	0	94	30
	PO 5	1,12	2,95	34	13	88,9	11,1	0,9	2,15	90	38	0	0	14	9	0,94	0	92	36
25 Urgences	PO 1	0,91	1,78	48	17	64,58	35,42	0,64	1,69	92	35	0	0	29	11	0,69	0	92	32
	PO 2	0,95	1,99	42	14	74,07	25,93	0,79	1,86	91	34	0	0	28	10	0,72	0	91	37
	PO 3	1,05	2,37	45	16	70,59	29,41	0,88	1,94	91	28	0	0	19	12	0,85	0	91	37
	PO 4	1,25	2,43	43	14	76	24	0,95	2,12	85	28	0	0	15	8	0,92	0	85	42
	PO 5	1,4	3,02	35	12	71,67	28,33	1,19	2,17	77	26	0	0	14	6	1,15	0	83	46
(1)	Nombre moyen d'heures supplémentaires (heure)																		
(2)	Temps moyen de décalage par rapport aux anciennes dates de début (heure)																		
(3)	Solution proposée (%)																		
(4)	Stratégie choisie (%)																		
SMSOQ	Salles de même spécialité que l'urgence occupées (%)																		
PSMS	Il n'existe pas de salle de même spécialité (%)																		

De même, la stratégie 3 affecte les urgences dans des périodes inoccupées successives, dont la somme est supérieure ou égale à la durée opératoire de l'urgence, avant les heures supplémentaires autorisées. Si ces périodes n'existent pas, alors aucune solution ne pourra être proposée avec cette stratégie. Les différentes solutions proposées par les quatre stratégies, si elles existent, sont comparées. Nous calculons alors le pourcentage des fois où chacune des stratégies a été adoptée (colonne (4) du Tableau 4.5). Dans la suite, nous détaillons les résultats de ce tableau.

Dans la Figure 4.11, nous donnons le pourcentage de fois où chacune des stratégies a réussi à fournir une solution (colonne (3) du Tableau 4.5) sur le nombre total des urgences de classe 2 à affecter. Pour toutes les configurations testées, les stratégies 2 et 4 sont celles qui proposent des solutions le plus souvent. Pour ces deux stratégies, une solution est proposée respectivement dans 91,3 et 91,2% des cas. La première stratégie ne propose, quant à elle, des solutions que dans 45,6% des cas. La troisième stratégie est celle qui propose le moins souvent de solutions, dans 27,2% des cas.

Dans la Figure 4.12, nous comparons la moyenne des heures supplémentaires engendrées pour les stratégies 1, 2 et 4. La stratégie 3 n'engendre pas d'heures supplémentaires, elle n'est donc pas représentée. Les heures supplémentaires sont le premier critère selon lequel une stratégie est adoptée pour intégrer l'urgence.

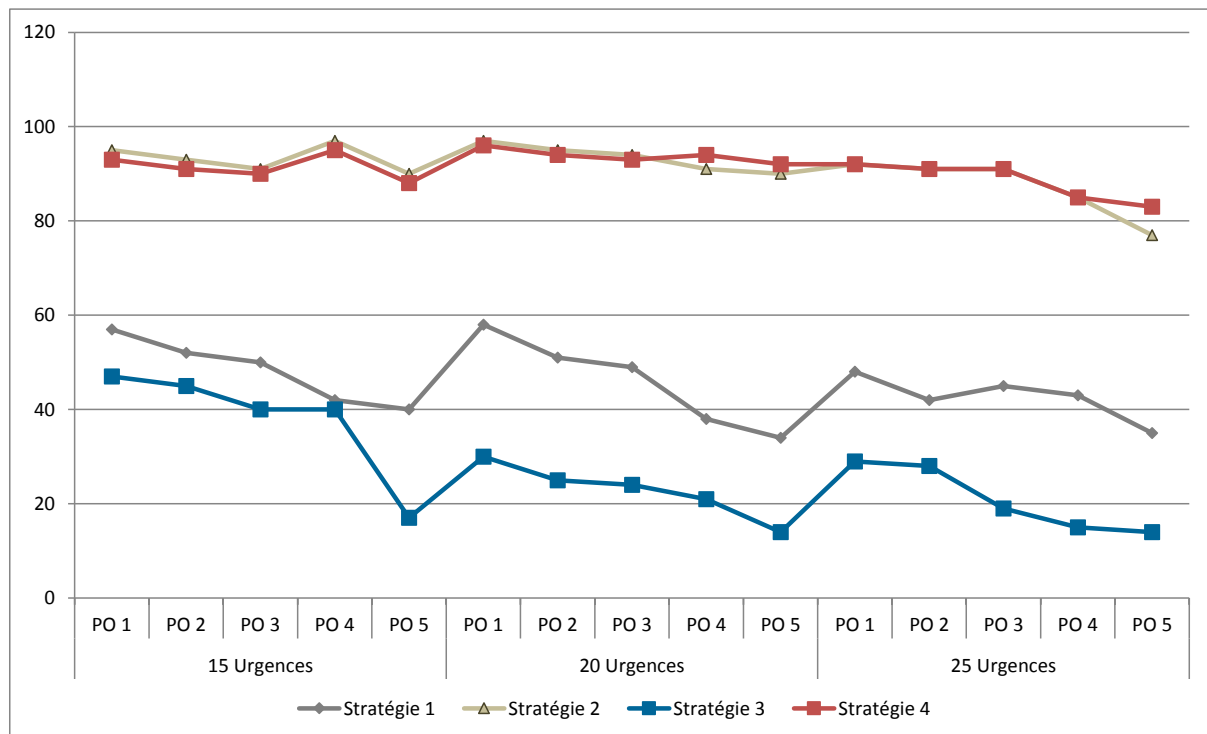


Figure 4.11 Pourcentage des solutions proposées par les stratégies

En observant l'évolution de ce critère, nous remarquons que la première stratégie engendre le plus d'heures supplémentaires pour tous les problèmes (0,97 heure soit 58,2 minutes). Ceci explique le fait que le pourcentage de fois où cette stratégie a été choisie (colonne (4)) est inférieur à celui des stratégies 2 et 4 (16,6% contre respectivement 34,06% et 34%). Le nombre moyen d'heures supplémentaires pour cette stratégie est plus important parce que nous imposons que l'urgence soit affectée à une salle de même spécialité. Ceci n'est pas toujours opportun en termes d'heures supplémentaires, ni de décalage (en moyenne 2 heures et 14 minutes).

Nous avons examiné les raisons pour lesquelles cette stratégie n'est pas capable de fournir autant de solutions que les stratégies 2 et 4. Il en existe deux principales. La première est qu'il existe une salle de même spécialité dans le programme opératoire, mais cette salle est occupée jusqu'à la fin des heures supplémentaires autorisées (SMSOQ). Donc la stratégie ne propose aucune solution. La deuxième raison est qu'il n'existe pas de salle de même spécialité ouverte le jour de l'arrivée de l'urgence (PSMS). Dans les colonnes 7 et 8 du Tableau 4.5, nous donnons le pourcentage pour ces deux raisons. Nous remarquons qu'en général, la première stratégie n'est pas capable de proposer une solution parce que les salles de même de spécialité sont occupées dans 74.7% des cas en moyenne.

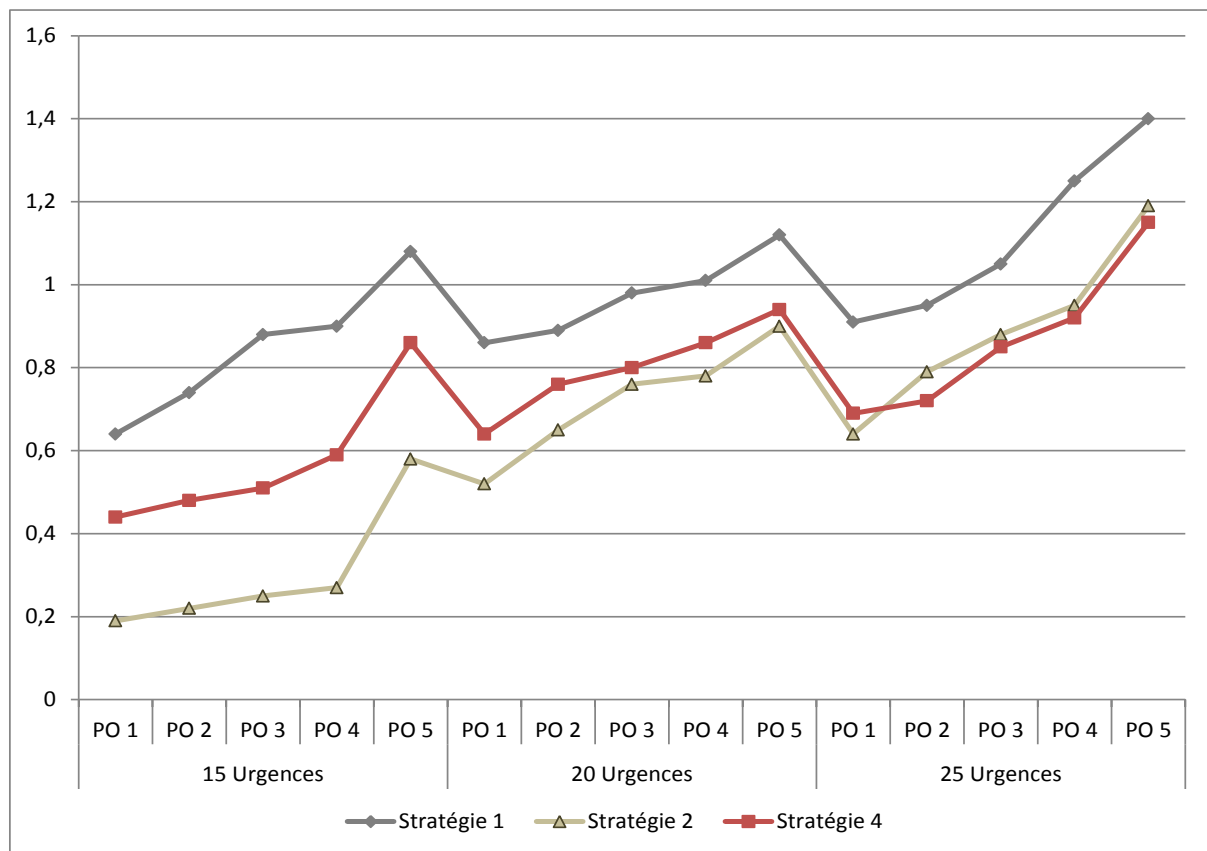


Figure 4.12 Variation du nombre moyen d'heures supplémentaires pour les stratégies 1, 2 et 4

Par ailleurs, il faut noter que, pour une même configuration (15, 20 ou 25 urgences), plus le taux d'occupation des programmes opératoires augmente, plus le pourcentage augmente. De la même façon, pour un taux d'occupation égal, plus le nombre d'urgences à affecter est grand, plus ce pourcentage augmente.

La stratégie 3 n'engendre pas d'heures supplémentaires. Elle devait être normalement la plus choisie. Or, elle n'est choisie que dans 11,9% des cas. Cela s'explique par le fait que la stratégie 3 est celle qui propose le moins souvent des solutions, seulement dans 26,5% des cas pour toutes les configurations. En effet, la fonction objectif du modèle mathématique utilisé pour définir les programmes opératoires prévisionnels comporte deux parties. La première maximise l'occupation dans les salles opératoires, et la deuxième minimise les temps morts entre les opérations programmées, afin de les programmer au plus tôt. Cette deuxième partie fait qu'il n'existe que peu ou pas de périodes inoccupées dans le programme opératoire. Par conséquent, il n'est pas souvent possible d'intégrer les urgences en utilisant cette stratégie.

Les stratégies 2 et 4 sont celles qui engendrent le moins d'heures supplémentaires. Les nombres d'heures supplémentaires engendrées par ces deux stratégies sont assez proches. En moyenne pour toutes les configurations, on a 0,63 heures (38 min) pour la stratégie 2 et 0,74 heures (44 min) pour la stratégie 4. En particulier, dans le cas de la troisième configuration de données testées (25 urgences à intégrer), ces deux stratégies donnent des résultats moyens quasi identiques.

Nous donnons, dans la Figure 4.13, la fréquence de sélection de chacune des cinq stratégies (colonne (4) du Tableau 4.5). A partir de cette figure, nous pouvons constater l'utilité de proposer plusieurs stratégies d'affectation pour cette classe d'urgence. Selon la situation en cours dans le bloc opératoire, l'outil peut choisir la stratégie la plus adéquate à utiliser.

Bien qu'il soit plus convenable pour le responsable du bloc d'affecter l'urgence dans une salle de même spécialité, l'outil d'aide à la décision montre que ce n'est pas toujours la meilleure solution et que cela peut engendrer des perturbations assez importantes dans le programme opératoire prévisionnel.

La troisième stratégie est la moins utilisée (en moyenne dans 11,9% des cas). Mais étant donné qu'elle n'engendre aucune perturbation dans le programme opératoire (zéro heure supplémentaire et zéro décalage), il reste opportun de la considérer.

La deuxième et la quatrième stratégie sont très proches. Ce sont les stratégies qui proposent le plus de solutions (respectivement 91,3% et 91,2% des cas) et sont choisies comme meilleure stratégie dans respectivement 34,1% et 34% des cas. Nous pouvons constater que lorsque le taux d'occupation, après intégration des urgences, avoisine 100%, la stratégie 2 est la mieux adaptée. Cependant, dès que ce taux dépasse 100%, ces deux stratégies deviennent équivalentes.

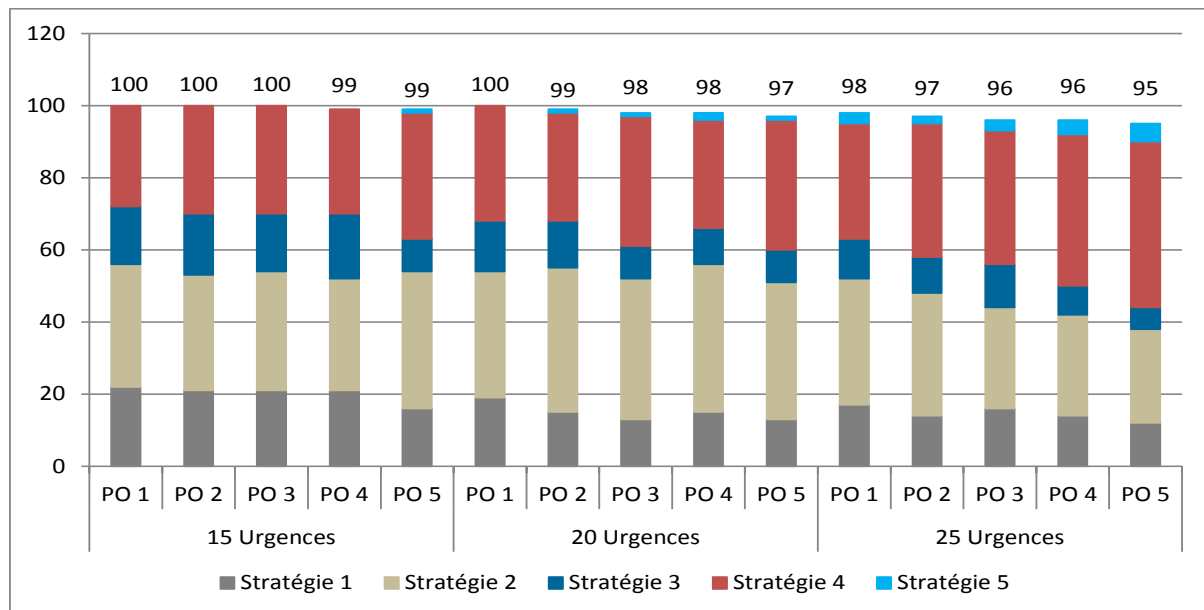


Figure 4.13 Fréquence de sélection de chaque stratégie (en pourcentage)

Dans le Tableau 4.6, nous présentons les résultats relatifs à la stratégie 5. Plus le nombre d'urgences à intégrer est important, plus le recours à cette stratégie est important (colonne (1) du Tableau 4.5). On passe, au total, de 0,6% pour la première configuration, à 2,6% dans la deuxième, et enfin à 7% pour la troisième configuration. Par ailleurs, cette stratégie n'est pas capable de fournir une solution à chaque fois qu'on l'utilise. En effet, dans certains cas, il n'existe pas d'opérations de classe 3 programmées, ou celles qui sont programmées ont une durée inférieure à celle de l'urgence. Comme nous n'autorisons pas le dépassement des heures supplémentaires autorisées pour cette classe d'urgences, l'urgence n'est donc pas programmée.

Nous calculons également le nombre d'heures supplémentaires engendrées suite à l'affectation de l'urgence en utilisant cette stratégie 5. En moyenne, cela engendre 0,44 heures (26 min). Le recours à cette stratégie implique le report d'opérations de classe 3 pour pouvoir affecter l'urgence. Plus le nombre d'urgences à affecter augmente, plus le nombre des opérations de classe 3 reportées augmente : 2 opérations reportées pour la première configuration, 10 opérations pour la deuxième configuration et 23 pour la troisième configuration. Le nombre d'opérations reportées ayant réussi à être réaffectées varie d'un problème à un autre. Cela dépend de l'occupation de salles opératoires et du jour où l'opération a été annulée. Si c'est le dernier jour du programme opératoire, alors l'opération ne sera réaffectée que la semaine suivante.

Tableau 4.6 Résultats pour les urgences de classe 2 (stratégie 5)

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
15 Urgences	PO 1	0	0	0,00	0	0
	PO 2	0	0	0,00	0	0
	PO 3	0	0	0,00	0	0
	PO 4	1	0	0,00	0	0
	PO 5	2	1	0,50	2	1
20 Urgences	PO 1	0	0	0,00	0	0
	PO 2	2	1	0,50	1	1
	PO 3	3	1	0,44	2	0
	PO 4	4	2	0,63	3	1
	PO 5	4	1	0,38	4	0
25 Urgences	PO 1	5	3	0,44	3	1
	PO 2	5	2	0,35	3	1
	PO 3	7	3	0,35	3	2
	PO 4	8	4	0,58	5	3
	PO 5	10	5	0,67	9	3
(1)	Recours à la stratégie 5 (%)					
(2)	Solution proposée par la stratégie 5 (%)					
(3)	Nombre moyen d'heures supplémentaires (heure)					
(4)	Nombre total d'opérations classe 3 reportées pour les 10 exemples					
(5)	Nombre total d'opérations de classe 3 réaffectées pour les 10 exemples					

4.4.3 Résultats pour les urgences de Classe 3

Cette classe regroupe les patients dont l'état tolère une attente de quelques jours, mais qui doivent être programmés avant la fin de la semaine en cours. L'intégration de ces opérations ne doit pas entraîner de modifications dans le programme opératoire en cours. Nous avons alors proposé de les intégrer à la fin du programme opératoire. Nous veillons également à ce qu'elles engendrent le minimum d'heures supplémentaires. Dans le Tableau 4.7, nous présentons les résultats pour cette classe d'opération. Dans la première colonne, nous donnons l'évolution du nombre moyen d'heures supplémentaires. Dans la deuxième colonne, nous présentons le temps d'attente moyen avant leur affectation, en jours.

Tableau 4.7 Résultats pour les opérations de classe 3

		(1)	(2)
15 Urgences	PO 1	0,24	1,1
	PO 2	0,29	1,49
	PO 3	0,31	1,53
	PO 4	0,39	1,65
	PO 5	0,47	1,78
20 Urgences	PO 1	0,27	1,25
	PO 2	0,33	1,86
	PO 3	0,37	1,9
	PO 4	0,42	1,98
	PO 5	0,56	2,06
25 Urgences	PO 1	0,33	1,53
	PO 2	0,39	2,17
	PO 3	0,41	2,22
	PO 4	0,52	2,25
	PO 5	0,63	2,31
(1)	Nombre moyen d'heures supplémentaires (heures)		
(2)	Temps moyen d'attente avant affectation des opérations de classe 3 (jour)		

Pour l'ensemble de configurations testées, l'affectation des opérations de classe 3 engendre, en moyenne, 0,39 heures supplémentaires (24 min) (colonne 1 du Tableau 4.7). Pour une même configuration, plus le taux d'occupation augmente, plus cela engendre d'heures supplémentaires. En moyenne, pour les configurations A, B et C, les heures supplémentaires engendrées sont respectivement 20,4, 23,4 et 27,4 minutes. De même, pour un même programme opératoire et différentes configurations (15, 20 et 25 urgences) les heures supplémentaires engendrées augmentent avec le nombre d'opérations à intégrer.

Concernant le temps moyen d'attente avant affectation (colonne 2 du Tableau 4.7), pour la première configuration, les opérations sont affectées, en moyenne, après un jour et demi. Le temps d'attente pour la deuxième configuration augmente par rapport à la première. Pour la troisième configuration, les opérations ne sont affectées qu'au bout de 2 jours.

4.5 Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons abordé la problématique d'intégration des urgences dans le programme opératoire. Nous avons proposé un outil d'aide à la décision qui prend en considération la pathologie du patient et propose, en fonction de la gravité de son état, une solution adéquate respectant son état et minimisant différents critères (temps d'attente avant affectation, décalage par rapport aux anciennes dates, heures supplémentaires engendrées). Cet outil gère trois catégories d'urgences différentes : les urgences vitales, les urgences stabilisées (de classe 2), et celles de classe 3 (de type *add-on*). Pour les urgences de classe 2, nous avons

proposé 5 stratégies d'affectation différentes, dont nous avons démontré l'utilité au travers des expériences que nous avons effectuées. La richesse des résultats que fournit l'outil proposé guide le décideur dans son processus de prise de décision, et lui permet de visualiser instantanément l'impact de l'affectation des opérations urgentes sur le programme opératoire. Les travaux de ce chapitre a été présentés à la conférence ***Control, Decision and Information Technologies*** 'CODIT 2016' (Bouguerra *et al.*, 2016).

Nous terminons ce travail par une conclusion générale sur nos travaux et mentionnons quelques perspectives de recherche à court et moyen terme.

Conclusion générale et perspectives

*« Les difficultés d'un sujet,
il est bon de ne les reconnaître
qu'au fur et à mesure que l'on travaille ;
on perdrait cœur à les voir toutes d'un coup ».*

A. Gide, Si le grain ne meurt.

Le travail présenté dans ce manuscrit s'intéresse à la gestion des flux patients électifs et non électifs au sein des blocs opératoires. Ce projet est effectué en collaboration avec l'hôpital Robert Pax de Sarreguemines et financé par la Communauté d'Agglomération de Sarreguemines Confluences et la Région Lorraine.

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous avons présenté les systèmes hospitaliers, en particulier les systèmes français, et avons mis l'accent sur leur complexité. Nous avons également justifié l'intérêt que nous portons pour une entité en particulier, le bloc opératoire. Nous avons décrit le fonctionnement de ce lieu hautement stratégique, ainsi que les différentes stratégies utilisées pour la construction du programme opératoire. La programmation opératoire est un instrument de gestion permettant de préciser l'ordre de passage des interventions à réaliser pendant un horizon de temps, en leur attribuant les ressources nécessaires. Tous les auteurs sont unanimes sur la complexité du processus d'élaboration des programmes opératoires. De ce fait, nous avons focalisé notre recherche sur les différents travaux qui se sont intéressés à la problématique de planification et d'ordonnancement des opérations. La revue de la littérature nous a permis de constater l'hétérogénéité des objectifs, des méthodes de résolution et des ressources considérées lors de la résolution de la problématique de planification et d'ordonnancement.

En plus de ce travail bibliographique, nos visites et réunions avec la responsable du bloc opératoire de l'hôpital Robert Pax nous ont permis d'authentifier les faiblesses des pratiques existantes. En voici quelques-unes : (1) l'adoption de la stratégie *block scheduling* pour l'élaboration du programme opératoire et le manque de flexibilité qui est source de pertes financières; (2) l'absence d'outil pour l'élaboration du programme opératoire, effectuée actuellement en se basant sur l'expérience du responsable du bloc ; (3) le dimensionnement des ressources nécessaires pour le respect du programme opératoire prévisionnel et la détermination de l'ordonnancement des différentes ressources intervenantes dans le processus opératoire ; (4) le besoin d'un outil en temps réel pour la gestion des opérations urgentes proposant une affectation qui respecte la pathologie et la gravité de l'état du patient et minimise les perturbations engendrées dans le programme opératoire prévisionnel.

En réponse à ces problématiques, les chapitres 2 et 3 ont été consacrés à la gestion des opérations électives. Nous avons proposé deux outils complémentaires permettant d'établir un ordonnancement pour les différentes ressources sollicitées par un patient lors de son parcours chirurgical.

Dans le deuxième chapitre, nous avons proposé en premier lieu, un modèle mathématique qui permet de prendre en compte les ressources les plus importantes dans le processus opératoire : les salles opératoires et les chirurgiens. L'horizon de planification pour ce modèle est discrétisé, ce qui nous a permis de prendre en compte la disponibilité horaire des chirurgiens. Nous avons utilisé la stratégie *open scheduling* pour la construction du programme opératoire. Cette stratégie suppose que les salles opératoires soient multifonctionnelles et puissent accueillir toutes les spécialités. Par ailleurs, nous imposons que pendant une seule journée, une salle opératoire ne peut accueillir qu'une seule spécialité. Toutes les opérations sont programmées

pendant les durées d'ouverture régulières des salles opératoires, puisque nous n'autorisons pas les heures supplémentaires. Nous avons également proposé un deuxième modèle mathématique, en temps continu. Nous avons considéré deux objectifs. Le premier est de maximiser le taux d'occupation des salles opératoires, et le deuxième est d'affecter les opérations au plus tôt.

Les expérimentations effectuées nous ont permis de déduire que le modèle discrétisé permet d'obtenir des solutions optimales en un temps d'exécution largement inférieur à celui du modèle en temps continu. S'ajoute à cela le fait que le modèle discrétisé permet de prendre en compte la disponibilité horaire des chirurgiens, contrairement au modèle en temps continu pour lequel la disponibilité est exprimée en termes de jours et non pas de périodes. Les performances de ce modèle restent limitées aux problèmes de petites tailles. En effet, pour un horizon de planification supérieur à 3 jours, les temps d'exécution de cette méthode exacte deviennent trop importants. Par conséquent, nous avons proposé une heuristique constructive basée sur le modèle mathématique. Son principe est de partager l'horizon de planification. Nous avons comparé les performances de cette heuristique par rapport à la méthode exacte. Nous avons constaté que l'écart entre les deux taux d'occupation obtenus ne dépassait pas 1,81%, ce qui est révélateur de la performance de notre approche heuristique. Ceci nous a encouragé à utiliser cette heuristique pour l'élaboration des programmes opératoires hebdomadaires, en utilisant des données réelles issues de l'historique de fonctionnement du bloc opératoire Robert Pax.

Nous avons présenté, dans le troisième chapitre, une description détaillée du processus opératoire et des ressources impliquées dans celui-ci. L'analyse du processus opératoire nous a permis de déduire que les ressources intervenantes sont interdépendantes. En effet, un retard dans l'une des étapes de ce processus implique un décalage dans les dates de début des étapes suivantes. De ce fait, il est important de définir un ordonnancement pour toutes ces ressources. La description établie nous a également permis d'assimiler le processus opératoire à un flow shop hybride à quatre étages avec des contraintes de blocage de type *RSb*. Les ressources des quatre étages sont respectivement : les couples de brancardiers, la salle d'induction composée de postes pour la préparation et l'anesthésie des patients avant l'opération, les salles opératoires et les lits de réveil de la SSPI.

Dans la littérature, les travaux ayant assimilé le parcours du patient à un flow shop hybride à deux ou trois étages (en fonction des ressources prises en compte) proposent un ordonnancement global pour les ressources considérées simultanément, et n'imposent généralement pas de contraintes pour les salles opératoires. Dans notre cas, nous proposons une nouvelle philosophie de résolution pour le problème considéré. En effet, l'ordonnancement est défini pour les ressources en amont et en aval de l'étage « salles opératoires » comme une synchronisation autour du programme opératoire prévisionnel, qui prend en compte la disponibilité des ressources les plus importantes (chirurgiens et salles opératoires). Pour la résolution de ce problème, nous avons utilisé un algorithme génétique. Notre objectif est d'établir un ordonnancement pour toutes les ressources considérées, sans engendrer de retard par rapport au programme opératoire prévisionnel. De ce fait, l'objectif était de minimiser le

retard entre les nouvelles dates de début et les dates prévisionnelles mais également le makespan.

En plus de la nouvelle philosophie adoptée pour la résolution de cette problématique, nous nous distinguons par rapport aux travaux existants par le fait d'avoir considéré une ressource qui, à notre connaissance, a été très rarement prise en considération, la salle d'induction. De plus, l'algorithme génétique que nous proposons nous a également permis de dimensionner, en fonction du nombre de salles opératoires ouvertes, le nombre de ressources en amont nécessaires pour la réalisation du programme opératoire sans engendrer de retard. A partir des expérimentations effectuées, nous avons déduit que, pour assurer une réalisation sans retard par rapport au programme opératoire prévisionnel, il faut mettre à disposition autant de brancardiers et de postes de préparation et d'anesthésie que de nombre de salles opératoires ouvertes. Quant aux lits de réveil, nous avons constaté que les recommandations de la SFAR (1,5 lits de réveil pour chaque salle opératoire) nous permettent d'atteindre notre objectif.

Afin de faire face aux aléas venant perturber la réalisation du programme opératoire prévisionnel, nous avons proposé dans le quatrième chapitre un outil d'aide à la décision pour l'insertion des opérations urgentes dans le programme opératoire. En effet, suite à l'arrivée d'une urgence, le gestionnaire du bloc doit intégrer celle-ci dans le programme et trouver une affectation adéquate qui d'une part, garantit un temps d'attente qui ne nuise pas à l'état de santé du patient et d'autre part, perturbe le moins possible l'ordonnancement préétabli du programme opératoire en cours d'exécution. Nous avons alors développé un outil d'aide à la décision permettant de gérer en temps réel ce flux imprévisible. Nous avons considéré 3 classes différentes d'urgences, et avons proposé pour chacune la procédure d'affectation adéquate. Les procédures d'affectation respectent l'état du patient et minimisent certains critères. Pour la première classe d'urgence, les urgences vitales qui devront être prises en charge le plus tôt possible, nous minimisons le temps d'attente des patients. La deuxième classe comprend les patients qui doivent être pris en charge avant la fin de la journée en cours. Grâce à la flexibilité qu'offre cette classe d'urgence, et afin de trouver une solution qui perturbe le moins possible le programme opératoire prévisionnel, nous avons proposé cinq stratégies d'affectation différentes. A l'arrivée de chaque urgence de cette classe, les solutions des quatre premières stratégies sont comparées selon deux critères : les heures supplémentaires engendrées et le décalage par rapport aux anciennes dates de début. La solution qui en génère le moins est retenue et le programme opératoire est mis à jour avec l'insertion de l'urgence. Si les quatre premières stratégies ne nous fournissent pas de solution, une cinquième stratégie est utilisée pour affecter l'urgence. Enfin, la troisième classe d'opérations urgentes comprend des patients provenant du service des urgences, mais dont l'état est stabilisé et devront être pris en charge avant la fin de la semaine en cours. Cette classe comprend également des opérations électives reportées et des opérations intégrées après définition du programme opératoire, connues sous le nom de *add on*. Etant donné que l'état des patients tolère une attente de quelques jours, nous affectons ces patients à la fin du programme opératoire pour ne pas perturber l'exécution du programme en cours.

La richesse des résultats obtenus permet de guider le décideur dans son processus de prise de décision. A travers les expérimentations établies, nous avons démontré l'utilité des cinq stratégies proposées pour les urgences de classe 2. L'outil d'aide à la décision permet au gestionnaire du bloc de visualiser instantanément l'impact de l'affectation des opérations urgentes sur le déroulement du programme opératoire en cours.

Par ailleurs, nous proposons ici quelques pistes et axes d'améliorations pouvant faire l'objet d'un approfondissement de la recherche et un élargissement du domaine de recherche.

Nous pouvons envisager de prendre en compte les opérations ambulatoires. Nous avons déjà commencé à travailler sur ce point, et avons développé un modèle qui prend en compte la spécificité de cette catégorie d'opérations, qui doit être planifiée dans la matinée pour que les patients puissent rentrer à leur domicile à la fin de la journée. L'intégration de ce type d'opération au programme opératoire est un enjeu majeur pour les années à venir, car cela représente une source d'économies considérable pour l'état français.

L'approche de planification et d'ordonnancement que nous avons proposée est une approche déterministe qui fait abstraction de toutes formes d'aléas. Il serait alors intéressant de prendre en compte des sources d'aléas comme la nature stochastique des durées opératoires ou la prise en compte préventive des urgences dès l'étape de planification, par exemple.

Une autre amélioration concerne l'outil d'aide à la décision pour la gestion des opérations urgentes, pour lequel nous pourrions proposer d'améliorer la procédure de réaffectation des opérations décalées. Il faudrait pour cela prendre en compte les disponibilités des chirurgiens dont les opérations ont été reportées.

Pour finir, ce travail ouvre des perspectives d'élargissement du domaine de recherche. L'affectation des opérations aux chirurgiens est supposée être connue à l'avance. Il serait utile de développer un outil d'aide à l'affectation des opérations aux chirurgiens, permettant d'équilibrer la charge entre les différents chirurgiens et prenant en compte leurs compétences.

Nous avons considéré les ressources les plus critiques intervenant dans le processus opératoire : brancardiers, poste de préparation, salles opératoires, lits de réveil. Toutefois, d'autres ressources telles que les infirmières ou les anesthésistes peuvent être identifiées comme des ressources critiques. Il en est de même pour la disponibilité des médicaments, des matériels stériles nécessaires pour la prise en charge des patients. Par exemple, face à l'indisponibilité d'une prothèse nécessaire à une opération programmée, le responsable du bloc sera dans l'obligation d'annuler cette opération.

Finalement, nous proposons de faire appel aux méthodes d'intelligence artificielle, telles que les systèmes multi-agents, pour l'élaboration des programmes opératoires. Nous faisons référence aux travaux de (Daknou *et al.*, 2010) ayant proposé un outil d'aide à la décision à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence. Ces travaux pourraient être étendus pour la gestion des opérations électives et l'amélioration du parcours patient au sein du bloc opératoire.

Bibliographie

Addis, B., Carello, G., Grosso, A. and Tànfani, E. (2016) 'Operating room scheduling and rescheduling: a rolling horizon approach', *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 28(1–2), pp. 206–232.

Addis, B., Carello, G. and Tànfani, E. (2014) 'A robust optimization approach for the Advanced Scheduling Problem with uncertain surgery duration in Operating Room Planning', *Preprint submitted to Elsevier*.

AGIM (2009) *Perspectives sur les soins de santé en Belgique*, Association Générale de l'Industrie du Médicament.

Agnetis, A., Coppi, A., Corsini, M., Dellino, G., Meloni, C. and Pranzo, M. (2012) 'Long term evaluation of operating theater planning policies', *Operations Research for Health Care*, 1((4)), pp. 95–104.

Albouy, V., Bretin, E., Carnot, N. and Deprez, M. (2009) 'Les dépenses de santé en France : déterminants et impact du vieillissement à l'horizon 2050'. *Documents de travail de la DGTPE*, (11).

Amin-Naseri, M. R. and Afshari, A. J. (2012) 'A hybrid genetic algorithm for integrated process planning and scheduling problem with precedence constraints', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(1), pp. 273–287.

Annemans, L., Closon, J. P., Closon, M. C., Heymans, I., Lagasse, R., Mendes da Costa, E., and Roch, I. (2008). Comparaison du coût et de la qualité de deux systèmes de financement des soins de première ligne en Belgique. KCE Reports 85B.

Arenas, A. M., Bilbao, A., Caballero, R., Gómez, T., Rodríguez, M. V, Ruiz, F., Arenas, M., Bilbao, A., Caballero, R., Gomez, T., Rodriguez, M. V and Ruiz, F. (2002) 'Analysis via goal programming of the minimum achievable stay in surgical waiting lists', 53(4), pp. 387–396.

Augusto, V., Xie, X. and Perdomo, V. (2007) 'Operating theatre scheduling with limited Recovery beds and patients recovery in operating rooms', in *The International Conference on Industrial Engineering and System Management*, May 30- June 2.

Augusto, V., Xie, X. and Perdomo, V. (2010) 'Operating theatre scheduling with patient recovery in both operating rooms and recovery beds', *Computers & Industrial Engineering*., 58(2), pp. 231–238.

Augusto Vincent, Xie Xiaolan, G. F. (2007) 'A framework for the modeling and simulation of health care systems', *International Conference on Automation Science and Engineering. IEEE*, pp. 231–236.

Ballou, R. H. (1992) *Business Logistics Management*, Prentice-Hall publications, Englewood

Cliffs, NJ.

Beli, J. and Demeulemeester, E. (2006) 'Visualizing the demand for various resources as a function of the master surgery schedule : A case study', *Journal of Medical Systems*, 30(5), pp. 343–350.

Beliën, J. and Demeulemeester, E. (2007) 'Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy', *European Journal of Operational Research*, 176(2), pp. 1185–1204.

Beliën, J., Demeulemeester, E. and Cardoen, B. (2009) 'A decision support system for cyclic master surgery scheduling with multiple objectives', *Journal of Scheduling*, 12(2), pp. 147–161.

Belorgey, N. (2010) *L'hôpital sous pression: Enquête sur le 'nouveau management public'*. éditions La Découverte.

Besombes, B., Trilling, L. and Guinet, A. (2004) 'Conduite du changement dans le cadre du regroupement de plateaux médico-techniques : Apport de la modélisation d'entreprise', *Journal Européen des Systèmes Automatisés RS-JESA, Logistique hospitalière*, 38(6), pp. 691–723.

Blake, J. T. and Carter, M. W. (1997a) 'Surgical process management: a conceptual framework', *Surgical Services Management*, 3(9), pp. 31–37.

Blake, J. T. and Carter, M. W. (1997b) 'Surgical process scheduling: a structured review', *Journal of Health systems (I.I.E)*, 5(3), pp. 17–30.

Blake, J. T., Dexter, F. and Donald, J. (2002) 'Operating room managers' use of integer programming for assigning block time to surgical groups: a case study.', *Anesthesia and analgesia*, 94(1), pp. 143–148.

Bouguerra, A., Sauvey, C. and Sauer, N. (2016) 'Online assignment strategies for emergent, urgent and work-in-cases surgeries in an operating theatre', in *Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) International Conference on IEEE*, pp. 438–443.

Bouguerra, A., Sauvey, C., Sauer, N. (2015) 'Mathematical model for maximizing operating rooms utilization Mathematical model for maximizing operating rooms utilization', *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier Ltd., 48(3), pp. 118–123.

Bresnahan, T. F., Brynjolfsson, E. and Hitt, L. M. (2002) 'Information technology, workplace organization, and the demand for skilled labor: Firm-level evidence', *The quarterly journal of Economics*, 117(1), pp. 339–376.

Bruni, M. E., Beraldi, P. and Conforti, D. (2015) 'A stochastic programming approach for operating theatre scheduling under uncertainty' *IMA Journal of Management Mathematics*, 26(1), pp. 99–119..

Cappanera, P., Visintin, F. and Banditori, C. (2016) 'Addressing conflicting stakeholders' priorities in surgical scheduling by goal programming', *Flexible Services and Manufacturing Journal*, pp. 1-20.

Cardoen, B., Demeulemeester, E. and Belie, J. (2009) 'Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem', *International Journal Production Economics*, 119, pp. 354–366.

Cardoen, B., Demeulemeester, E. and Beliën, J. (2010) 'Operating room planning and scheduling: A literature review', *European Journal of Operational Research*, 201(3), pp. 921–932.

Cardoen, B., Demeulemeester, E., Beliën, J., Cardoen, B., Demeulemeester, E. and Beli, J. (2006) *Optimizing a multiple objective surgical case scheduling problem*, Technical report, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

Chaabane, S. (2004) 'Gestion prédictive des Blocs Opératoires', Thèse de doctorat, INSA de Lyon.

Chaabane, S., Guinet, A. and Rilling, L. (2004) 'Pilotage conjoint de ressources hospitalières humaines et matérielles: un problème d'ordonnancement avec cycles', in *Acte de la Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers GISEH04*, pp. 330–337.

Chaabane, S., Meknes, N., Guinet, A., Marius, L. (2007) 'Comparaison des performances des politiques de programmation opératoire', in *Logistique et Management I*, pp. 17-26.

Chaabane, S., Guinet, A., Smolski, N., Guiraud, M., Luquet, B., Marcon, E. and Viale, J.-P. (2003) 'La gestion industrielle et la gestion des blocs opératoires', *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*, 22(10), pp. 904–908.

Chaari, T. (2010) *Un algorithme génétique pour l'ordonnancement robuste: application au problème du flow shop hybride*.

Clergue, F. (1999) 'La gestion du bloc opératoire: pourquoi une telle préoccupation?', *Informations cliniques en Anesthésie- Réanimation*, pp. 93–94.

Colin, J., Aggoune, R., Briquet, M. and Jos, S. (2004) 'Le patient, un client au centre des flux', *Logistique & Management*, pp. 101–110.

Conforti, D., Guerriero, F. and Guido, R. (2010) 'A multi-objective block scheduling model for the management of surgical operating rooms: New solution approaches via genetic algorithms', *2010 IEEE Workshop on Health Care Management, WHCM 2010*.

Coulibaly S., K. P. et P. M. (2001) 'Organisation de la maintenance préventive en milieu hospitalier', *Ingénierie biomédicale, ITBM- RBM*, 22, pp. 125–33.

Daknou, A. (2011) *Architecture distribuée base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille.

Daknou, A., Zgaya, H., Hammadi, S. and Hubert, H. (2010) 'A dynamic patient scheduling at the Emergency Department in hospitals', *2010 IEEE Workshop on Health Care Management, WHCM 2010*.

Dallery, Y. (2004) 'Les méthodes de la logistique industrielle au service de la santé : apports et limitations', *Cours d'Ingénierie de la santé*, (Ecole Centrale de Paris).

Dekhici, L., Khaled, B., Dekhici, L., Khaled, B. and Theatre, O. (2012) 'Operating Theatre scheduling under constraints', *Journal of Applied Sciences*, 14(10), pp. 1380–1388.

Denton, B., Miller, A., Balasubramanian, H., Huschka, T., Denton, B., Miller, A., Balasubramanian, H., Huschka, T. and Allocation, O. (2010) 'Optimal Allocation of Surgery Blocks to Operating Rooms Under Uncertainty', *Operations Research*, 58, pp. 802–816.

Denton, B., Viapiano, J. and Vogl, A. (2006) 'Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty', *Health Care Management Science*, 10(1), pp. 13–24.

Devi, S. P., Rao, K. S. and Sangeetha, S. S. (2012) 'Prediction of Surgery Times and Scheduling of Operation Theaters in Ophthalmology Department', *Journal of medical systems*, 36(2), pp. 415–430.

Dexter, F. (2000) 'A strategy to decide whether to move the last case of the day in an operating room to another empty operating room to decrease overtime labour cost', *Anesthesia & Analgesia*, 91, pp. 925–928.

Dexter, F., Blake, J. T., Penning, D. H., Solan, B., Chung, P. and Lubarsky, D. A. (2002) 'Use of Linear Programming to Estimate Impact of Changes Perioperative Variable Costs', *Anesthesiology*, 96, pp. 718–724.

Dexter, F. and Ledolter, J. (2003) 'Managing Risk and Expected Financial Return from Selective Expansion of Operating Room Capacity: Mean-Variance Analysis', *Anesthesia and Analgesia*, 100(July 2003), pp. 190–195..

Dexter, F., Ledolter, J. and Wachtel, R. E. (2005) 'Tactical Decision Making for Selective Expansion of Operating Room Resources Incorporating Financial Criteria and Uncertainty in Subspecialties' Future Workloads', *Anesthesia & Analgesia*, 100(5), pp. 1425-1432.

Dexter, F., Macario, A. and Traub, R. D. (1999) 'Which Algorithm for Scheduling Add-on Elective Cases Maximizes Operating Room Utilization?', Use of bin packing algorithms and fuzzy constraints in operating room management', *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 91(5), pp. 1491-1491.

Dexter, F., Macario, a, Traub, R. D., Hopwood, M. and Lubarsky, D. a (1999) 'An operating

room scheduling strategy to maximize the use of operating room block time: computer simulation of patient scheduling and survey of patients' preferences for surgical waiting time.', *Anesthesia and analgesia*, 89(1), pp. 7–20.

Dexter, F. and Traub, R. D. (2002) 'How to schedule elective surgical cases into specific operating rooms to maximize the efficiency of use of operating room time.', *Anesthesia and analgesia*, 94(4), p. 933–42.

DREES (1999), *Les établissements de santé en 1999, Collection études et statistiques*.

DRESS (2014), *Le panorama des établissements de santé. Edition 2014*.

DRESS (2016), *Les dépenses de santé en 2015*.

Dussauchoy, A., Combes, C., Gouin, F. and Botti, G. (2003) 'Simulation de l'activité d'un bloc opératoire en utilisant des données recueillies au niveau d'un département d'anesthésie', in *Actes de la conférence GISEH*.

Van Essen, J. T., Hans, E. W., Hurink, J. L. and Oversberg, A. (2012) 'Minimizing the waiting time for emergency surgery', *Operations Research for Health Care*, 1(2–3), pp. 34–44.

Erdogan, S. A., Denton, B. T. (2010) 'Surgery planing and scheduling', Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science.

Everett, J. E. (2002) 'A Decision Support Simulation Model for the Management of an Elective Surgery Waiting System', *HCMS*, 5, pp. 89–95.

Fei, H. (2006) *Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnancement des blocs opératoires*. Thèse de doctorat, Université de technologie de Troyes et Facultés Universitaires Catholiques de Mons

Fei, H., Artiba, A. and Chu, C. (2004) 'A memetic algorithm for operating room scheduling', in *International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences*.

Fei, H., Chu, C., Artiba, A. and Meskens, N. (2005) 'Planification des interventions sur une semaine dans un bloc opératoire', in *6ème congrès de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF'05)*, pp. 359–374.

Fei, H., Chu, C. and Meskens, N. (2009) 'Solving a tactical operating room planning problem by a column-generation-based heuristic procedure with four criteria', *Annals of Operations Research*, 166(1), pp. 91–108..

Fei, H., Chu, C., Meskens, N. and Artiba, A. (2008) 'Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach ', *International Journal of Production Economics*, 112(1), pp. 96–108.

Fei, H., Chu, C., Meskens, N., and Duvivier, D. (2006), 'Ordonnancement journalier dans un bloc opératoire pour la stratégie d'open scheduling'. In *GISEH'06*..

Fei, H., Meskens, N. and Chu, C. (2010) 'A planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy', *Computers & Industrial Engineering*, 58(2), pp. 221–230.

Fei, H., Meskens, N., Combes, C. and Chu, C. (2009) 'The endoscopy scheduling problem : a case study with two specialised operating rooms', *Intern. Journal of Production Economics*. Elsevier, 120(2), pp. 452–462.

Fei, H., Meskens, N. and Chu, C. (2006) 'An operating theatre planning and scheduling problem in the case of "block scheduling" strategy', In *Service Systems and Service Management*, 2006 International Conference on (Vol. 1, pp. 422–428). IEEE.

Ferrand, Y. B., Magazine, M. J. and Rao, U. S. (2014) 'Managing operating room efficiency and responsiveness for emergency and elective surgeries—A literature survey', *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 4(1), pp. 49–64.

Gerchak, Y., Gupta, D. and Henig, M. (1996) 'Reservation planning for elective surgery under uncertain demand for emergency surgery', *Manage. Sci.*, 42(3), pp. 321–334.

Gourgand, M. (2008) 'La modélisation, la simulation et l'optimisation des flux dans les systèmes hospitaliers', in *Bulletin de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*, pp. 8–12.

Green, L. (2006) 'Queuing analysis in healthcare', in *Queueing Analysis In Healthcare*, pp. 281–307..

Guerriero, F. and Guido, R. (2011) 'Operational research in the management of the operating theatre: A survey', *Health Care Management Science*, 14(1), pp. 89–114.

Guido, R. and Conforti, D. (2017) 'A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem', *Computers and Operations Research*, pp. 1–13.

Guinet, A. and Chaabane, S. (2003) 'Operating theatre planning', *International Journal of Production Economics*, 85(1), pp. 69–81.

Hammami, S. (2006) *Aide a la decision dans le pilotage des flux materiels et patients d'un plateau medico-technique*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Hans, E., Wullink, G., Houdenhoven, M. Van and Kazemier, G. (2008) 'Robust surgery loading', *European Journal of Operational Research*, 185, pp. 1038–1050.

Hanset, A., Dudivier, D., Roux, O. and Nadine, M. (2009) 'Programmation par contraintes pour l'ordonnancement d'un bloc opératoire', in *Congrès International de Génie Industriel (CIGI 09)*.

Harper, P. R. (2002) 'A Framework for Operational Modelling of Hospital Resources', *Health care management science*, 5(3), 165–173.

Heng, M. and Wright, J. G. (2013) 'Dedicated operating room for emergency surgery improves access and efficiency', *Canadian Journal of Surgery*, 56(3), pp. 167–174.

Holcman, R. (2006) 'L'avènement de la gestion par pôle. Dernier avatar de la lutte de pouvoir à l'hôpital ?', *Gestions Hospitalières*, pp. 329-337

Hsu, V. N., de Matta, R. and Lee, C.-Y. (2003) 'Scheduling patients in an ambulatory surgical center', *Naval Research Logistics*, 50(3), pp. 218–238.

Huang, G. X., Xiang, W., Li, C., Zheng, Q., Zhou, S., Shen, B. Q. and Chen, S. F. (2012) 'Surgical scheduling based on hybrid flow-shop scheduling', *Applied Mechanics and Materials*, pp. 1004–1007.

Huschka, T. R., Narr, B. J., Denton, B. T. and Thompson, A. C. (2008) 'Using simulation in the implementation of an outpatient procedure center', *Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation*, pp. 1547–1552.

Jebali, A. (2004) *Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnancement des ressources dans les services de soins*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Jebali, A., Hadj Alouane, A. B. and Ladet, P. (2006) 'Operating rooms scheduling', *International Journal of Production Economics*, 99(1–2), pp. 52–62.

Jebali, A., Hadj Alouane, A. and Ladet, P. (2006) 'Operating rooms scheduling', *International Journal of Production Economics*, 99(1–2), pp. 52–62.

Jun, J. B., Jacobson, S. H. and Swisher, J. R. (1999) 'Application of Discrete-Event Simulation in Health Care Clinics : A Survey', *Journal of the Operational Research Society*, 50(2), pp. 109–123.

Kadri, F. (2014) *Contribution à la conception d'un système d'aide à la décision pour la gestion de situations de tension au sein des systèmes hospitaliers. Application à un service d'urgence*, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et de Hainaut Cambrésis

Kennedy, M. (1992) *Bin-packing, knapsack and chance constrained application to scheduling operating rooms*. Doctoral dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.

Kharraja, S. (2003) *Outils d'aide à la planification et l'ordonnancement des plateaux médico-techniques*. Thèse de doctorat, Université Jean Monnet.

Kharraja, S., Albert, F. and Chaabane, S. (2006) 'Blocs opératoires publics: application de la stratégie block scheduling', in *Modélisation et Simulation (MOSIM)*.

Kharraja, S., Chaabane, S. and Marcon, E. (2002) 'Evaluation de performances pour deux stratégies de programmation opératoire de bloc', in *Conférence Internationale Francophone d'Automatique CIFA*.

Khun, H. W. (1955) 'The Hungarian method for the assignment problem', *Naval research*

logistics quarterly, 2, pp. 83–98.

Kim, S.-C. and Horowitz, I. (2002) ‘Scheduling hospital services_the efficacy of elective-surgery quotas’, *Omega*, 30(5), pp. 335–346..

Kim, S. C., Horowitz, I., Young, K. K. and Buckley, T. A. (1999) ‘Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital’, *European Journal of Operational Research*, 115(1), pp. 36–46.

Kim, S., Horowitz, I., Young, K. K. and Buckley, T. A. (2000) ‘Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit’.

Kontak-Forsyth, M. and Grant, A. E. (1995) ‘OR booking policy: development and implementation’, *Canadian Nursing Journal*, 13(1).

Krempels, K. and Panchenko, A. (2006) ‘An Approach for Automated Surgery Scheduling’, in *Proceedings of the sixth international conference on the practice and theory of automated Timetabling.*, pp. 209–233.

Kuo, P. C., Schroeder, R. A., Mahaffey, S. and Bollinger, R. R. (2003) ‘Optimization of Operating Room Allocation Using Linear Programming Techniques’, *Journal of the American College of Surgeons*, 197(6), pp. 889–895.

Lafon, N. and Landry, S. (2001) ‘Gérer plus efficacement les stocks du bloc opératoire à partir de la programmation des interventions chirurgicales’, in *Gestion hospitalière*, 405.

Landa, P., Aringhieri, R., Soriano, P., Tànfani, E. and Testi, A. (2016) ‘Operations Research for Health Care A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling’, *Operations Research for Health Care*, 8, pp. 103–114.

Lee, F. C. (2006) ‘A quantitative performance measurement framework for health care systems (Doctoral dissertation)’, Thesis presented, University of Missouri-Columbia.

Lehtonen, J.-M., Torkki, P., Peltokorpi, A. and Moilanen, T. (2013) ‘Increasing operating room productivity by duration categories and a newsvendor model’, *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 26(2), pp. 80–92.

Leppäniemi, A. and Jousela, I. (2014) ‘A traffic-light coding system to organize emergency surgery across surgical disciplines’, *British Journal of Surgery*, 101(1), pp. 4–6..

Levtzion-Korach, O., Murphy, K. and Madden, S. (2010) ‘For urgent and emergent cases, which one goes to the OR first?’, *OR Manager*, 26(7), pp. 5–8.

Liu, Y., Chu, C. and Wang, K. (2011) ‘A new heuristic algorithm for the operating room scheduling problem’, *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 61(3), pp. 865–871.

Lovejoy, W. S. and Li, Y. (2002) ‘Hospital Operating Room Capacity Expansion’, *Management Science*, 48(11), pp. 1369–1387.

LRQ (2004) 'Règlement relatif à l'organisation et au fonctionnement du bloc opératoire', loi du Québec.

M'Hallah, R. and Al-Roomi, A. H. (2014) 'The planning and scheduling of operating rooms: A simulation approach', *Computers and Industrial Engineering*, 78, pp. 235–248.

Macario A., Vitez T.S., Dunn B., M. T. (1995) 'Where are the costs in perioperative care? Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care.', *Anesthesiology*, 83, pp. 1138–1144.

Magerlein, J. M. and Martin, J. B. (1978) 'Surgical demand scheduling: a review.', *Health services research*, 13(4), pp. 418–33.

Malhotra, V. (2001) 'Nuts and bolts of OR management', in *52nd Annual Refresher cours lectures, Clinical updates and basic science reviews, Annual Meeting of the American Society of Anesthesiologists October 13-17*.

Marcon, E. (2004) 'Dimensionnement des ressources des plateaux médico-techniques des établissements hospitaliers', *Journal Européen des Systèmes Automatisés RS-JESA*, 38(6), pp. 631 656.

Marcon, E. and Dexter, F. (2006) 'Impact of surgical sequencing on post anesthesia care unit staffing', *Health Care Management Science*, 9, pp. 89–98.

Marcon, E. and Kharraja, S. (2002) 'Survol des différentes stratégies de programmation opératoire : Analyse de leurs performances et des outils informatiques de leur mise en œuvre', *Journal Européen des Systèmes Automatisés*.

Marcon, E., Kharraja, S. and Simonnet, G. (2001a) 'Minimization of the risk of no realization for the planning of the surgical interventions into the operating theatre', in *Proceeding of 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies And Factory Automation, France*, pp. 675–680.

Marcon, E., Kharraja, S. and Simonnet, G. (2001b) 'The operating theatre scheduling: an approach centred on the follow-up of the risk of no realization of the planning', in *Proceeding of the Industrial Engineering and Production Management Canada*, pp. 18–21.

Marcon, E., Kharraja, S. and Simonnet, G. (2003) 'The operating theatre planning by the follow-up of the risk of no realization', *International Journal of Production Economics*, 85(1), pp. 83–90.

Marcon, E., Kharraja, S., Smolski, N. and Luquet, B. (2003) 'Determining the Number of Beds in the Postanesthesia Care Unit: A Computer Simulation Flow Approach', *Anesthesia & Analgesia*, 96(23), pp. 1415–1423.

Marques, I., Captivo, M. E. and Vaz Pato, M. (2014) 'Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic', *Operations Research for Health Care*, 3(2), pp.

59–72.

Marques, I. I., Captivo, M. E. E., Pato, M. V. and Vaz Pato, M. (2011) ‘An integer programming approach to elective surgery scheduling’, *OR Spectrum*, 34(2), pp. 407–427.

Massip, S. (2001) *Analyse du développement de la chirurgie ambulatoire au CHU de Toulouse : de l’orientation stratégique aux modalités de mise en oeuvre*. Mémoire, Ecole Nationale de la Santé Publique, Rennes.

Min, D. and Yih, Y. (2010) ‘Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints’, *European Journal of Operational Research*, 206(3), pp. 642–652.

Min, D. and Yih, Y. (2014) ‘Managing a patient waiting list with time-dependent priority and adverse events’, *RAIRO-Operations Research*, 48(1), pp. 53–74.

Moisdon, J.-C. and Tonneau, D. (1999) *La démarche gestionnaire à l’hôpital*, Editions Seli Arslan SA,

Molinié, E. (2005) ‘L’hôpital public en France : Bilan et perspectives’, *Avis et Rapport du Conseil Economique et Social*, (10), p. 259.

OCDE (2004) ‘Organisation de Coopération et de Développement Economique. Vers des systèmes de santé plus performants’, pp. 75–77.

Ogulata, S. N. and Erol, R. (2003) ‘A Hierarchical Multiple Criteria Mathematical Programming Approach for Scheduling General Surgery Operations in Large Hospitals’, *Journal of Medical Systems*, 27(3), pp. 259–270.

Van Oostrum, J. M., Van Houdenhoven, M., Hurink, J. L., Hans, E. W., Wullink, G. and Kazemier, G. (2008) ‘A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments’, *OR Spectrum*, 30(2), pp. 355–374.

Oostrum, J. M. Van, Houdenhoven, M. Van, Klein, J., Hans, E. W., Klimek, M., Wullink, G. and Steyerberg, E. W. (2008) ‘A Simulation Model for Determining the Optimal Size of Emergency Teams on Call in the Operating Room at Night’, *Anesthesia & Analgesia*, 107(5), pp. 1655–1662.

Ozkarahan, I. (1995) ‘Allocation of Surgical Procedures to Operating Rooms’, *Journal of Medical Systems*, 19(4), pp. 333–352.

Ozkarahan, I. (2000) ‘Allocation of surgeries to operating rooms by goal programming’, *J Med Syst*, 24(6), pp. 339–378.

Patterson, P. (1996) ‘What makes a well-oiled scheduling system’, *OR Manager*, 12(9), pp. 19–23.

Paul, J. and MacDonald, L. (2012) ‘Determination of number of dedicated OR’s and supporting pricing mechanisms for emergent surgeries’, *J Oper Res Soc*, 64(6), pp. 912–24.

- Perdomo, V., Augusto, V. and Xie, X. (2006) 'Scheduling Using Lagrangian', in *International Conference in Service Systems and Service Management IEEE*, pp. 1234–1239.
- Pham, D.-N. and Klinkert, A. (2008) 'Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem', *European Journal of Operational Research*, 185(3), pp. 1011–1025.
- Pham, M. C. (2002) *La prise en charge du patient à l'hôpital : Mieux gérer la complexité de la coordination des acteurs*. Mémoire, Ecole Nationale de la Santé Publique, Rennes.
- Przasnyski, Z. H. (1986) 'Operating room scheduling: a literature review', *Association of Operating Room Nurse (AORN) Journal*, 44, pp. 67–76.
- Rachuba, S. and Werners, B. (2013) 'A robust approach for scheduling in hospitals using multiple objectives', *J. Oper. Res. Soc.*, 65(4), pp. 546–556.
- Revel, M., Nicolas, G., Bara, C., Moreau, M. ., Nicolle, D. and Duret, M. (2003) *Synthèse des travaux du groupe sur l'implantation et l'organisation des plateaux technique*, Ministère de la santé, de la famille, et des personnes handicapées.
- Van Riet, C. and Demeulemeester, E. (2015) 'Trade-offs in operating room planning for electives and emergencies: A review', *Operations Research for Health Care*, 7, pp. 52–69.
- Roland, B. (2010) *Intégration du facteur humain dans la gestion des ressources partagées appliquée à la programmation opératoire*.
- Roland, B., Di Martinelly, C., Riane, F., Pochet, Y., Martinelly, C. Di, Riane, F. and Pochet, Y. (2010) 'Scheduling an operating theatre under human resource constraints', *Computers & Industrial Engineering*, 58(2), pp. 212–220.
- Roland, B., Martinelly Di, C. and Riane, F. (2006) 'Operating Theatre Optimization : A Resource-Constrained Based Solving Approach'. *International Conference on Service Systems and Service Management*.
- Rossi-Turck, D. (2002) 'Comment garantir la qualité et la sécurité au bloc opératoire par une programmation et une logistique innovante', *Santé et Systémique*, 6, pp. 179–196.
- Rossi-Turck, D., WRINCQ, J., DANHIER, A. M. and MENNE, A. (2004) 'L'approvisionnement du disponible au bloc opératoire : couplage d'une approche MRP2 et d'une livraison en kits', *Logistique & Management*, pp. 65–77.
- Saadani, N. H., Guinet, A., & Chaabane, S.. (2006) 'Ordonnancement des blocs opératoires' In *MOSIM: Conference francophone de MOdélisation et SIMulation*
- Santibáñez, P., Begen, M. and Atkins, D. (2007) 'Surgical block scheduling in a system of hospitals: An application to resource and wait list management in a British Columbia health authority', *Health Care Management Science*, 10(3), pp. 269–282.
- Sauvey, C. and Sauer, N. (2012) 'A genetic algorithm with genes-association recognition for

flowshop scheduling problems', *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(4), pp. 1167–1177.

Sciomachen, A., Tanfani, E. and Testi, A. (2005) 'Simulation models for optimal schedules of operating theatres OPERATING THEATRES', *International Journal of Simulation*, 6(12–13), pp. 36–34.

Scotia, N., Consultant, M. and Brunswick, N. (2002) 'Mount Sinai Hospital Uses Integer Programming to Allocate Operating Room Time', *Interfaces*, 32(2), pp. 63–73.

SFAR (1995) *Recommandations concernant l'équipement d'un site ou d'un ensemble de sites d'anesthésie*.

SFAR (1998) *Les référentiels en Anesthésie-Réanimation réunis par la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation*.

Sieber, T. J. and Leibundgut, D. L. (2002) 'Operating room management and strategies in Switzerland: results of a survey', *European journal of anaesthesiology*, 19(6), pp. 415–423.

Smith, C. D., Spackman, T., Brommer, K., Stewart, M. W., Vizzini, M., Frye, J. and Rupp, W. C. (2013) 'Re-engineering the operating room using variability methodology to improve health care value.', *Journal of the American College of Surgeons*, 216(4), pp. 559–68–70.

Smolski, N., Marcon, E., Chaabane, S., Luquet, B. and Viale, J. (2002) 'Impact des stratégies de brancardage sur l'occupation de la SSPI: étude par simulation', in *44ème Congrès national d'Anesthésie et de Réanimation*, pp. 19–22.

S., Meskens, N., Guinet, A., & Laurent, M. (2006) (2006) 'Comparaison des performances des politiques de programmation opératoire', *Conférence GISEH*, 1, pp. 633–644)

Stefanini, A. (1997) 'The hospital as an enterprise: management strategies', *Tropical Medicine and International Health*, 2(3), pp. 278–83.

Stodd, K., Ortiz, A. and Tenzer, I. (1998) 'Operating room benchmarking: the Kaiser performance experience', *The Performance Journal*, 2(4), pp. 5–16.

Strum, D. P. and May, J. H. (1998) 'Surgical procedure times are well modeled by the log normal distribution', *Anesthesia & Analgesia*, 86(46).

Stuart, K. and Kozan, E. (2012) 'Reactive scheduling model for the operating theatre', *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24(4), pp. 400–421.

Tan, Y., ElMekkawy, T., Peng, Q. and Oppenheimer, L. (2007) 'Mathematical Programming for the Scheduling of Elective Patients in the Operating Room Department', in *CDEN and CCEE Conference*.

Tanaka, M., Lee, J., Ikai, H. and Imanaka, Y. (2013) 'Development of efficiency indicators of operating room management for multi-institutional comparisons', *Journal of evaluation in clinical practice*, 19(2), pp. 335–341.

- Teil, A. (2002) *Défi de la performance et vision partagée des acteurs : application à la gestion hospitalière*. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin, Lyon III.
- Testi, A., Tanfani, E. and Torre, G. (2007) 'A three-phase approach for operating theatre schedules', *Health Care Management Science*, 10(2), pp. 163–172.
- Torkki, P. M., Marjamaa, R. A., Torkki, M. I., Kallio, P. E. and Kirvela, O. A. (2005) 'Use of Anesthesia Induction Rooms Can Increase the Number of Urgent Orthopedic Cases Completed within 7 Hours', *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 103(2) , pp. 401–405.
- Van Houdenhoven, M., Hans, E. W., Klein, J., Wullink, G. and Kazemier, G. (2007) 'A norm utilisation for scarce hospital resources: Evidence from operating rooms in a Dutch university hospital', *Journal of Medical Systems*, 31(4), pp. 231–236..
- Vanberkel, P. T. and Blake, J. T. (2007) 'A comprehensive simulation for wait time reduction and capacity planning applied in general surgery', *Health care management Science*, 10(4), pp. 373–385.
- Velásquez, R. and Melo, M. T. (2006) 'A set packing approach for scheduling elective surgical procedures', in *Operations Research Proceedings*, pp. 425–430.
- Vissers, J. M., Bertrand, J. W. M. and De Vries, G. (2001) 'A framework for production control in health care organizations', *Production Planning & Control*, 12(6), pp. 591–604.
- Wallach, D. (2011) *Numerus clausus: Pourquoi la France va manquer de médecins*, Springer Science & Business Media.
- Wang, P.-C., Su, M.-C., Hsieh, Y.-Z., Lin, S.-C. and Lai, S.-C. (2011) 'A SOMO-based approach to the operating room scheduling problem', *Expert Systems with Applications*, pp. 15447–15454..
- Wang, Y., Tang, J. and Fung, R. Y. K. (2014) 'A column-generation-based heuristic algorithm for solving operating theater planning problem under stochastic demand and surgery cancellation risk', *Int. J. Production Economics journal*, 158, pp. 28–36.
- William, B. A., Kentor, M. L., Williams, J. P., Figallo, C. M., Sigl, J. C., Anders, J. W., Bear, T. C., Tullock, W. C., Bennett, C. H., Harner, C. D. and Fu, F. H. (2000) 'Effects of Regional and General Anesthesia on Anesthesia-controlled Time', *Anesthesiology*, 93(2), pp. 529–538.
- Yu, W., Yunhui, M., Huabo, Z. and Jiafu, T. (2013) 'A particle swarm optimization algorithm on the surgery scheduling problem with downstream process', in *IEEE. Control and Decision Conference (CCDC)*, pp. 850–855.
- Zonderland, M. E., Boucherie, R. J., Litvak, N. and Vleggeert-Lankamp, C. L. a. M. (2010) 'Planning and scheduling of semi-urgent surgeries', *Health Care Management Science*, 13(3), pp. 256–267.