



Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier

Lorraine Trilling

► To cite this version:

Lorraine Trilling. Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier. domain_stic.othe. INSA de Lyon, 2006. Français. NNT: . tel-00173007

HAL Id: tel-00173007

<https://theses.hal.science/tel-00173007>

Submitted on 18 Sep 2007

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.

THÈSE

présentée devant

L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR

Spécialité

GÉNIE INFORMATIQUE

Ecole Doctorale : Informatique et Information pour la Société

par

Lorraine TRILLING

(Ingénieur en Génie Industriel)

**AIDE À LA DÉCISION POUR LE DIMENSIONNEMENT ET
LE PILOTAGE DE RESSOURCES HUMAINES MUTUALISÉES
EN MILIEU HOSPITALIER**

Soutenue publiquement le 7 novembre 2006

Jury :

M. BERNARD DESCOTES-GENON	Professeur	Président
M. GÉRARD FONTAN	Professeur	Rapporteur
M. CHRISTIAN TAHON	Professeur	Rapporteur
M. MICHEL GOURGAND	Professeur	Examineur
M. DOMINIQUE LE MAGNY	Praticien hospitalier	Examineur
M. ALAIN GUINET	Professeur	Directeur de thèse
M. JEAN-PAUL VIALE	Professeur	Co-directeur de thèse

SIGLE	ECOLE DOCTORALE	NOM ET COORDONNEES DU RESPONSABLE
	<u>CHIMIE DE LYON</u> Responsable : M. Denis SINOU	M. Denis SINOU Université Claude Bernard Lyon 1 Lab Synthèse Asymétrique UMR UCB/CNRS 5622 Bât 308 2 ^{ème} étage 43 bd du 11 novembre 1918 69622 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.44.81.83 Fax : 04 78 89 89 14 sinou@univ-lyon1.fr
E2MC	<u>ECONOMIE, ESPACE ET MODELISATION DES COMPORTEMENTS</u> Responsable : M. Alain BONNAFOUS	M. Alain BONNAFOUS Université Lyon 2 14 avenue Berthelot MRASH M. Alain BONNAFOUS Laboratoire d'Economie des Transports 69363 LYON Cedex 07 Tél : 04.78.69.72.76 Alain.bonnafous@ish-lyon.cnrs.fr
E.E.A.	<u>ELECTRONIQUE, ELECTROTECHNIQUE, AUTOMATIQUE</u> M. Daniel BARBIER	M. Daniel BARBIER INSA DE LYON Laboratoire Physique de la Matière Bâtiment Blaise Pascal 69621 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.43.64.43 Fax 04 72 43 60 82 Daniel.Barbier@insa-lyon.fr
E2M2	<u>EVOLUTION, ECOSYSTEME, MICROBIOLOGIE, MODELISATION</u> http://biomserv.univ-lyon1.fr/E2M2 M. Jean-Pierre FLANDROIS	M. Jean-Pierre FLANDROIS UMR 5558 Biométrie et Biologie Evolutive Equipe Dynamique des Populations Bactériennes Faculté de Médecine Lyon-Sud Laboratoire de Bactériologie Tél : 04.78.86.31.50 Fax 04 72 43 13 88 E2m2@biomserv.univ-lyon1.fr
EDIIS	<u>INFORMATIQUE ET INFORMATION POUR LA SOCIETE</u> http://www.insa-lyon.fr/ediis M. Lionel BRUNIE	M. Lionel BRUNIE INSA DE LYON EDIIS Bâtiment Blaise Pascal 69621 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.43.60.55 Fax 04 72 43 60 71 ediis@insa-lyon.fr
EDISS	<u>INTERDISCIPLINAIRE SCIENCES-SANTE</u> http://www.ibcp.fr/ediss M. Alain Jean COZZONE	M. Alain Jean COZZONE IBCP (UCBL1) 7 passage du Vercors 69367 LYON Cedex 07 Tél : 04.72.72.26.75 Fax : 04 72 72 26 01 cozzone@ibcp.fr
	<u>MATERIAUX DE LYON</u> http://www.ec-lyon.fr/sites/edml M. Jacques JOSEPH	M. Jacques JOSEPH Ecole Centrale de Lyon Bât F7 Lab. Sciences et Techniques des Matériaux et des Surfaces 36 Avenue Guy de Collongue BP 163 69131 ECULLY Cedex Tél : 04.72.18.62.51 Fax 04 72 18 60 90 Jacques.Joseph@ec-lyon.fr
Math IF	<u>MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE FONDAMENTALE</u> http://www.ens-lyon.fr/MathIS M. Franck WAGNER	M. Franck WAGNER Université Claude Bernard Lyon1 Institut Girard Desargues UMR 5028 MATHEMATIQUES Bâtiment Doyen Jean Braconnier Bureau 101 Bis, 1 ^{er} étage 69622 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.43.27.86 Fax : 04 72 43 16 87 wagner@desargues.univ-lyon1.fr
MEGA	<u>MECANIQUE, ENERGETIQUE, GENIE CIVIL, ACOUSTIQUE</u> http://www.lmfa.ec-lyon.fr/autres/MEGA/index.html M. François SIDOROFF	M. François SIDOROFF Ecole Centrale de Lyon Lab. Tribologie et Dynamique des Systèmes Bât G8 36 avenue Guy de Collongue BP 163 69131 ECULLY Cedex Tél : 04.72.18.62.14 Fax : 04 72 18 65 37 Francois.Sidoroff@ec-lyon.fr

Remerciements

Cette thèse n'aurait pas vu le jour sans la confiance, la patience et la générosité de mon directeur de recherche, M. le Professeur Alain Guinet, que je veux vivement remercier. En m'acceptant à ses côtés dans le programme régional de recherche HRP² (Hôpitaux Regroupement Partage et Pilotage) dont il a été le chef de projet pendant ces trois années, il m'a témoigné d'une grande confiance dont je lui suis très reconnaissante. Je le remercie sincèrement pour sa disponibilité, pour m'avoir fourni d'excellentes conditions de travail, pour ses encouragements dans les moments les plus durs et pour l'amitié qui est née de notre travail en duo.

Pour m'avoir accueillie au sein du laboratoire PRISMa (Productique et Informatique des Systèmes Manufacturiers) et permis de réaliser cette thèse dans les meilleures conditions, je souhaite ici remercier chaleureusement M. le Professeur Joël Favrel.

Je remercie sincèrement M. le Professeur Jean-Paul Viale, pour ses conseils avisés, pour le partage de ses expériences et pour m'avoir accordé un temps que je lui sais précieux.

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à M. le Professeur Gérard Fontan dont les remarques m'ont été très précieuses ainsi que pour la tâche de rapporteur qu'il a bien voulu assumer. Je remercie aussi vivement M. le Professeur Christian Tahon pour l'honneur qu'il m'a fait d'accepter de rapporter ce travail et l'intérêt qu'il y a porté.

Je tiens à remercier MM. les Professeurs Michel Gourgand et Bernard Descotes Genon pour le crédit qu'ils ont bien voulu accorder à mon travail en participant au jury de cette thèse.

J'exprime mes sincères remerciements envers le Dr. Dominique Le Magny, pour m'avoir toujours tenue au courant des dernières publications ou informations qu'il détenait et pour le plaisir qu'il me fait en ayant accepté de participer à ce jury.

Par son intégration dans le projet HRP², cette thèse a bénéficié d'échanges plus que stimulants, avec des chercheurs de la communauté mais également avec des professionnels de la santé.

Je désire exprimer ma profonde reconnaissance envers M. le Professeur Eric Marcon, pour ses nombreux conseils pertinents et pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail. Quelle que soit l'heure du jour ou de la nuit, il n'est pas avare de coups de pouce qui m'ont été d'un grand secours, notamment lors des phases de programmation.

Ce travail ne serait pas ce qu'il est sans le soutien éclairé et amical de Frédéric Albert. Notre collaboration sur l'un des chapitres de ce document ainsi que les nombreuses réunions de travail desquelles est né le squelette du « démonstrateur » m'ont permis d'apprécier son

immense générosité, son imagination débordante et ses grandes compétences informatiques.

J'aimerais également exprimer mes remerciements envers Francis Reymondon, ami avant tout, excellent ingénieur hospitalier mais également designer de site web, qui m'a permis de « jouer » avec notre plate-forme collaborative sans me perdre dans les lignes de code.

J'adresse également toute ma sympathie aux participants du projet HRP², Béatrix Besombes, pour m'avoir fait confiance depuis le début, Sondes Chaabanne, pour ses réponses immédiates à mes appels au secours et pour avoir déblayé le terrain de GLPK, Tao Wang, Said Kharraja, Pierre Ladet, Véronique Deslandres, Ahmed Bounekkar ...

J'aimerais remercier profondément le personnel de l'hôpital de la Croix-Rousse, en particulier Annie Desmazes, Brigitte Luquet, Françoise Malblanc, Nicole Smolsky.

J'exprime mes remerciements à tout le personnel du bloc opératoire du Centre Hospitalier Saint Joseph et Saint Luc, et particulièrement au Dr. Pierre-Yves Chomel, pour son extrême gentillesse et pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail. Je remercie également Georges Delorme, Michèle Rivot, Anne et Annie, pour l'excellent accueil qu'ils m'ont réservé et pour tout ce qu'ils m'ont appris. L'initiation au monde hospitalier qu'il m'ont permis de vivre m'a été d'une très grande utilité pendant ces trois ans.

Mes sincères remerciements vont également au personnel du bloc opératoire du Centre Hospitalier de Valence, et particulièrement les médecins anesthésistes le Dr. Patrick Moulhier, pour sa patience lors de nos conversations téléphoniques, le Dr. André Fleury, pour son enthousiasme et sa participation active au projet. Je remercie également les cadres de santé du CHV et notamment Anne-Marie Moreau, cadre de santé en anesthésie, pour le temps si précieux qu'elle m'a accordé et qui m'a permis de comprendre une partie de son travail.

Je remercie également tout ceux qui ont fait que ces trois ans sont passés à toute vitesse et qui tous les jours m'ont donné le sourire, mes collègues et amis du laboratoire PRISMa et du département Génie Industriel. France-Anne (faisons que notre amitié résiste au temps qui passe et aux kilomètres qui nous séparent), Carole (« ah!!! comment ça marche L^AT_EX, j'ai besoin de toi »), Taher (merci de m'avoir supportée dans son bureau depuis le début), Tao (tu réponds toujours présent en apportant les solutions avec un calme qui me dépasse), Florence (merci tous tes conseils sur tant de sujets), Nadira (tu es d'une efficacité et d'une patience à toute épreuve), Anthony (pour tout ce que nous avons pu partager même avant la thèse), Clément (merci pour les petites astuces qui m'ont tant aidé), François et Manu, Ali et Ali, Virginie, Yolanda, Hervé, Guillaume, Pierre-Alain, Céline, Caroline,...

Pour son soutien d'une solidité inébranlable, pour ses encouragements intarissables, pour sa patience et pour l'intelligence avec laquelle il a relu cette thèse, je voudrais remercier de tout mon cœur Bertrand, mon compagnon de tous les jours, qui a suivi de près les évolutions de mon moral et a contribué à sa manière à l'aboutissement de ce travail.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance et mon amour à celles et ceux qui m'ont soutenue et supportée tout au long de la réalisation de ces travaux (et même bien avant!), et particulièrement Laurent, mon papa, pour son oreille attentive à mes problèmes et sa relecture si pointue, Micheline, ma maman, pour son soutien et ses mots de réconfort, Geneviève, Clémence et Lucie, mes sœurs qui malgré la distance qui nous séparent font partie de moi-même, Bruno et Bertrand, mes frères qui me font tant rire.

Pour finir, je désire remercier Nella, mon unique et incroyable grand-mère, pour ses encouragements, pour le regard et l'amour qu'elle me porte. Je lui dédie ce mémoire avec tout mon amour.

Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier

Résumé :

Le regroupement des blocs opératoires au sein d'un Plateau Médico-Technique (PMT) présente des enjeux dans la phase de conception (dimensionnement des ressources et choix d'organisation) et dans la phase de pilotage (planification de l'activité et affectation des ressources humaines et matérielles) face auxquels les décideurs hospitaliers manquent d'outils. En réponse à ces besoins, cette thèse propose une démarche globale d'aide à la décision pour la conception du PMT et le pilotage des ressources humaines mutualisées de ce secteur. Cette démarche aborde trois principaux problèmes. Dans un premier temps, nous nous intéressons à la modélisation des processus de PMT existants, dont le but est de faire émerger un diagnostic et d'engager une démarche d'amélioration de la performance. Ces modèles sont réutilisés dans un second temps pour la modélisation des processus cibles qui nous permettent d'obtenir, par simulation de l'activité, les courbes de charge exprimant les besoins en personnel. Nous abordons la question du dimensionnement du personnel regroupé du PMT par la construction des vacations couvrant cette charge prévisionnelle, à l'aide de la Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) couplée à la simulation de flux. Dans un troisième temps, nous étudions deux problèmes de planification d'horaires de travail : celui des infirmiers anesthésistes et celui des médecins anesthésistes, pour lesquels nous développons plusieurs approches de résolution basées sur la Programmation Linéaire Mixte (PLM) et sur la Programmation Par Contraintes (PPC), expérimentées et validées dans le cadre d'applications réelles.

Mots-clés :

Regroupement hospitalier, aide à la décision, modélisation d'entreprise, planification des ressources humaines, programmation linéaire en nombres entiers, programmation par contraintes.

Decision support for pooled human resource staffing and scheduling in healthcare

Abstract :

To reduce cost and optimize the use of resources, hospitals are prompted to regroup facilities and human resources, especially in the surgical suite. The principle of sharing resources from several surgical specialties in a multi-disciplinary surgical suite raises a number of issues, particularly regarding the design of the new structure (resources sizing, organizational alternatives) and its steering process (scheduling surgery, allocating human and material resources). At the moment, decision makers are lacking tools to address these challenges. This thesis proposes a global decision support methodology for designing the surgical suite and steering the pooled human resources. This methodology involves three main steps. We first carry out the process modeling of existing surgical suites, in order to elaborate a diagnosis and to initiate a methodology for performance improvement. In a second step these existing process models are used as a basis to elaborate models of the targeted process. These new models allow building up an activity simulation tool that enables to generate curves representing workforce requirements. We address the staffing problem of pooled personnel through the design of a set of shifts covering the estimated workload, using Integer Linear Programming (ILP) combined with discrete event simulation. In a third time, we focus on the anesthesiology personnel (nurses and physician), which are generally organized in pools of personnel, and propose solutions to the related scheduling problems. Approaches based on Mixed Linear Programming (MLP) and Constraint Programming (CP) have been developed, experimented and validated in real-world applications.

Keywords :

Healthcare management, decision support, enterprise modelling, personnel scheduling, integer linear programming, constraint programming.

Table des matières

Introduction	1
I Regroupements hospitaliers : contexte et problématique	5
1 Contexte du regroupement hospitalier	7
1.1 Le contexte hospitalier du regroupement	8
1.1.1 L'hôpital : un système complexe	8
1.1.2 Enjeux actuels des hôpitaux	9
1.1.3 Regroupement préconisé par les tutelles	12
1.2 Le regroupement de plateaux médico-technique (PMT)	13
1.2.1 Qu'est ce qu'un plateau médico-technique ?	13
1.2.2 La chaîne de valeur du PMT	15
1.2.3 Le processus de soin du patient	16
1.2.4 Variété des plateaux médico-techniques	18
1.2.5 Conclusion	27
2 Problématiques soulevées par le regroupement de PMT	29
2.1 Réingénierie des architectures et des organisations	30
2.1.1 Choix architecturaux et dimensionnement des ressources	30
2.1.2 Choix des organisations et des règles de gestion	31
2.1.3 Système d'information	35
2.2 Exploitation et pilotage	36
2.2.1 Évaluation et amélioration de la performance	36
2.2.2 Planification et affectation des ressources	37
2.2.3 Planification des personnels	39
2.3 Problèmes de gestion de personnels du PMT	40
2.3.1 Les personnels soignants	40
2.3.2 Les personnels médicaux	46
2.4 Démarche proposée en réponse aux besoins hospitaliers	48
3 État de l'art	51
3.1 Ré-ingénierie des organisations	52
3.1.1 Modélisation des systèmes	52
3.1.2 Évaluation et amélioration de la performance	60
3.2 Dimensionnement et planification des ressources du PMT	61
3.2.1 Dimensionnement	61
3.2.2 Planification des ressources du PMT	63
3.3 Planification d'horaires de travail	65

3.3.1	Notions, concepts et définitions	66
3.3.2	Classification des problèmes	67
3.3.3	Problèmes de construction de vacations	70
3.3.4	Problèmes de construction de plannings	75
3.4	Conclusion	84
II	Dimensionnement et planification des ressources humaines : modélisation et approches de résolution	87
4	Démarche globale pour la conception et le pilotage des PMT	89
4.1	Préambule	89
4.2	Démarche globale	90
4.2.1	Modélisation de l'existant	90
4.2.2	Pilotage du PMT	92
4.2.3	Conception du PMT	93
4.3	Modélisation des processus pour le pilotage et la conception du PMT	95
4.3.1	Cadre de modélisation	95
4.3.2	Modélisation du système existant	98
4.3.3	Diagnostic du système et pilotage de la performance	106
4.3.4	Modélisation du système cible	107
4.4	Conclusion	111
5	Construction des vacations et dimensionnement du personnel	113
5.1	Préambule : Modélisation de la demande	114
5.2	Obtention de la courbe de charge	115
5.2.1	Modélisation et valorisation des processus	116
5.2.2	Prévision de l'arrivée des demandes	119
5.2.3	Modélisation de l'organisation des ressources humaines	120
5.2.4	Simulation à capacité infinie	123
5.3	Énumération des vacations	123
5.3.1	Paramètres des vacations	124
5.3.2	Algorithme d'énumération des vacations	124
5.4	Problème de construction des vacations	127
5.4.1	Programmation linéaire	127
5.4.2	Proposition d'une approche hybride	129
5.5	Conclusion	134
6	Modèle de planification des infirmiers anesthésistes	137
6.1	Description du problème	139
6.1.1	Description de l'activité des IADE (Infirmiers Anesthésistes Dipl. d'État)	139
6.1.2	Stratégie de gestion du personnel et organisation du travail	140
6.1.3	Mode de planification	140
6.1.4	Critère à optimiser	141
6.1.5	Contraintes	142
6.2	Modélisation	143
6.2.1	Les données du problème	143
6.2.2	L'approche PLM (Programmation linéaire mixte)	143
6.2.3	L'approche PPC (Programmation par contraintes)	146
6.3	Comparaison des approches PLM et PPC	149
6.3.1	Les outils utilisés	150
6.3.2	Expérimentations et résultats	150

6.3.3	Discussion	153
6.4	Comparaison des solveurs pour l'approche PLM	153
6.4.1	Les outils utilisés	154
6.4.2	Expérimentations et résultats	155
6.4.3	Discussion	156
6.5	Conclusion	158
7	Modèle de planification des médecins anesthésistes	159
7.1	Positionnement du problème	160
7.1.1	Activités du MAR (Médecin Anesthésiste Réanimateur)	160
7.1.2	Positionnement dans le processus de planification de l'activité	161
7.2	Caractéristiques du problème	163
7.2.1	Organisation des activités du MAR	163
7.2.2	Les critères	165
7.2.3	Les contraintes	166
7.3	Modélisation	166
7.3.1	Les données du problème	167
7.3.2	Les variables de décision	167
7.3.3	Les contraintes à respecter	167
7.3.4	L'objectif	170
7.4	Application au cas du CHV (Centre Hospitalier de Valence)	171
7.4.1	Hypothèses du CHV	172
7.4.2	Expérimentations et discussions	174
7.5	Conclusion	177
	Conclusion	179
	Annexes	183
	Bibliographie	203

Table des figures

1	Démarche pour le pilotage et la conception des plateaux médico-techniques	2
1.1	Le plateau médico-technique est une partie du plateau technique de l'hôpital	14
1.2	Flux entrants et sortants du plateau médico-technique (Marcon, 2004)	14
1.3	Chaîne de valeur du PMT inspirée de la chaîne de Porter	15
1.4	Processus de soins pour les patients passant par le PMT	17
1.5	Les différentes configurations PMT	27
2.1	Démarche d'analyse et de conception à l'aide de la modélisation d'entreprise	35
2.2	Accréditation/certification et démarche qualité (HAS, 2005)	37
3.1	Démarche d'analyse (Besombes <i>et al.</i> , 2004)	54
3.2	Formalisme de SADT et de IDEF0	55
3.3	Le modèle GRAI	56
3.4	Analyse multi-vue du système de production de soin avec GIM	57
3.5	Architecture ARIS	59
3.6	Recherche d'équilibre entre trois critères (Partouche, 1998)	67
3.7	Décomposition des différents niveaux de décision des problèmes de planification d'horaires	69
4.1	Démarche pour le pilotage et la conception des plateaux médico-techniques	91
4.2	L'approche mutli-vue ARIS : sélection des types de modèles	96
4.3	Organigramme du plateau médico-technique	100
4.4	Processus global de prise en charge du patient	102
4.5	Processus de soins du patient	102
4.6	Processus bloc opératoire	104
4.7	Processus support : Gestion du matériel	105
4.8	Programmation opératoire	105
4.9	Cycle d'amélioration de la performance (Acquier <i>et al.</i> , 2003)	106
4.10	Démarche d'amélioration de la performance : recherche des variables d'action	107
5.1	Étapes pour l'obtention de la courbe de charge via la simulation	116
5.2	Extrait du processus de soin du patient	117
5.3	Extrait du processus de gestion des DMS	118
5.4	Polyvalence horizontale et verticale	122
5.5	Écran de saisie des paramètres pour la génération de l'ensemble des vacations candidates	126
5.6	Interface de restitution du calcul des vacations et d'ajustement	129
5.7	Approche hybride pour la construction des vacations basée sur le modèle de couverture de charge	132

5.8	Résultats fournis par l'approche hybride basée sur la couverture de la charge .	133
5.9	Approche hybride du LASPI basée les temps d'attente	134
6.1	Illustration de la contrainte C6	142
6.2	Planning construit par la PPC	152
6.3	Planning construit par la PLM	152
7.1	Activités du processus de prise en charge du patient sur lesquels interviennent les médecins anesthésistes	161
7.2	Positionnement de la planification des médecins anesthésistes vis à vis de la planification des interventions	162

Liste des tableaux

1.1	Liste des spécialités chirurgicales, médicales et obstétricales du PMT	23
4.1	Comparaison des pratiques entre le CHSJSJL et le CHV (1)	109
4.2	Comparaison des pratiques entre le CHSJSJL et le CHV (2)	110
5.1	Fonctions et postes du PMT	121
5.2	Exemple de matrice de couverture des périodes j (colonnes) par les vacations v (lignes)	127
5.3	Synthèse des résultats des approches de construction de vacations	134
6.1	Types de vacations et horaires associés	139
6.2	Tableau de pénibilité des postes selon le jour de la semaine	141
6.3	Paramètres des problèmes testés en PPC et PLM	151
6.4	Résultats obtenus par l'approche PPC et l'approche PLM	151
6.5	Paramètres des problèmes testés avec les solveurs CPLEX, LINGO et GLPK sur 7, 14 et 28 jours	156
6.6	Composition de l'effectif considéré pour chaque besoin, effectif ETP (équivalent temps plein) et effectif total	156
6.7	Résultats de 24 expérimentations de l'approche PLM sur 3 solveurs	157
7.1	Pondérations des critères	175
7.2	Résultats plannings MAR	176
7.3	Analyse des plannings hebdomadaires réels	176

Introduction

Le contexte politique, économique et social actuel, caractérisé en France par la recherche de rationalisation des coûts, la maîtrise des dépenses de santé, l'augmentation de la consommation de soins et le vieillissement de la population, incite les hôpitaux à repenser leurs architectures et leurs organisations, de manière à offrir à la population des soins de qualité au moindre coût tout en préservant le confort de travail des personnels. L'une des stratégies préconisée par les tutelles pour atteindre ces objectifs est le regroupement des moyens les plus coûteux. Elle est mise en œuvre dans le secteur chirurgical des établissements par le regroupement des activités de chirurgie de plusieurs spécialités au sein de Plateaux Médico-Techniques (PMT). La conception de ces blocs opératoires multidisciplinaires de grande taille, ainsi que leur pilotage posent un certain nombre de problèmes face auxquels les décideurs hospitaliers manquent d'outils.

Soutenu par la Région Rhône-Alpes, le programme de recherche HRP² (Hôpitaux Regroupement Partage et Pilotage), associant établissements hospitaliers et laboratoires de recherche en Génie Industriel, se propose de chercher, sélectionner, concevoir et mettre à disposition des hospitaliers, des outils d'aide à la décision afin de supporter un projet de regroupement de PMT ainsi qu'une organisation de pilotage des ressources humaines et matérielles mutualisées. Directement intégrés à ce cadre, les travaux présentés dans ce mémoire traitent des problématiques liées à la mutualisation des ressources humaines, tant pour les problèmes de dimensionnement que de pilotage.

Le regroupement des activités sur un même site offre des possibilités de mutualisation des ressources humaines, qui sont de bonne augure, au vu de la pénurie de personnel médical et paramédical à venir. Cependant, si l'organisation n'est pas clairement définie, le partage des ressources peut tout aussi bien aboutir à des résultats allant à l'encontre des attentes : peu de gains en terme de coût, insatisfaction du personnel, dégradation de la qualité des soins. Pour cette raison, la conception de la nouvelle organisation doit être accompagnée et évaluée avant le déménagement dans la nouvelle structure : il s'agit entre autre de définir comment sera répartie l'activité chirurgicale sur les salles opératoires, comment vont travailler les personnels, quel sera leur périmètre d'action, quels seront leurs horaires de travail, combien seront-ils ? Par ailleurs, une fois cette organisation mise en place, comment gérer au quotidien les pools de personnels mutualisés, sachant que le rassemblement de compétences et l'augmentation de la taille des équipes complexifient l'élaboration des plannings de travail ?

Face à ces questions, les décideurs au niveau stratégique sont bien souvent contraints de faire appel à leur propre expertise et à celles de leurs collaborateurs, sans pouvoir garantir que les décisions prises soient les meilleures. Notre ambition est de leur fournir un outil permettant d'évaluer les conséquences de chaque choix en termes de dimensionnement et d'organisation.

Au niveau tactique et opérationnel, les gestionnaires de PMT se heurtent à des problèmes complexes de management des ressources humaines, qui doivent tenir compte d'un nombre important de contraintes (légales, économiques, et humaines) tout en offrant une qualité des soins irréprochable et en faisant preuve de flexibilité face à la variation des demandes. Notre objectif est d'analyser les problèmes réels de planification et de développer des outils d'aide à la décision facilement transférables aux hospitaliers permettant la construction automatique des plannings de travail.

En réponse aux besoins hospitaliers, nous proposons dans cette thèse une démarche globale d'aide à la conception et au pilotage des ressources humaines du PMT. Cette démarche est représentée par l'actigramme de la figure 1. Abordée dans les chapitres 4 à 7, elle repose en premier lieu sur la modélisation de l'existant, en utilisant les méthodes de modélisation multi-vue et multi-niveau dont nous montrons l'apport (chapitre 3). Dans une phase d'exploitation et de pilotage, elle permet de capitaliser les connaissances explicites et tacites des acteurs, d'effectuer de manière objective le diagnostic de l'organisation, et de mettre en place une démarche d'amélioration de la performance du PMT (chapitre 4). Elle facilite également la compréhension du système, sur laquelle nous nous basons pour conduire l'identification des besoins en outils d'aide à la décision pour le pilotage des ressources ainsi que leur développement (chapitres 6 et 7). Dans la phase de conception du PMT, nous proposons d'apporter une aide à la modélisation du système cible (ce à quoi ressemblera la future organisation du PMT) en regroupant l'ensemble des pratiques observées au sein d'un même modèle paramétrable. Ce modèle générique constitue l'un des éléments d'un outil d'aide à la modélisation des processus, au choix d'organisation et au dimensionnement des ressources du PMT, conçu et développé par les chercheurs du projet HRP². Nous avons par ailleurs intégré à cet outil basé sur la simulation de flux, un modèle utilisant les résultats de la simulation pour déterminer de manière efficace les horaires de travail des personnels et leur dimensionnement (chapitre 5). Ces deux types de paramètres font partie des entrées des outils de pilotage.

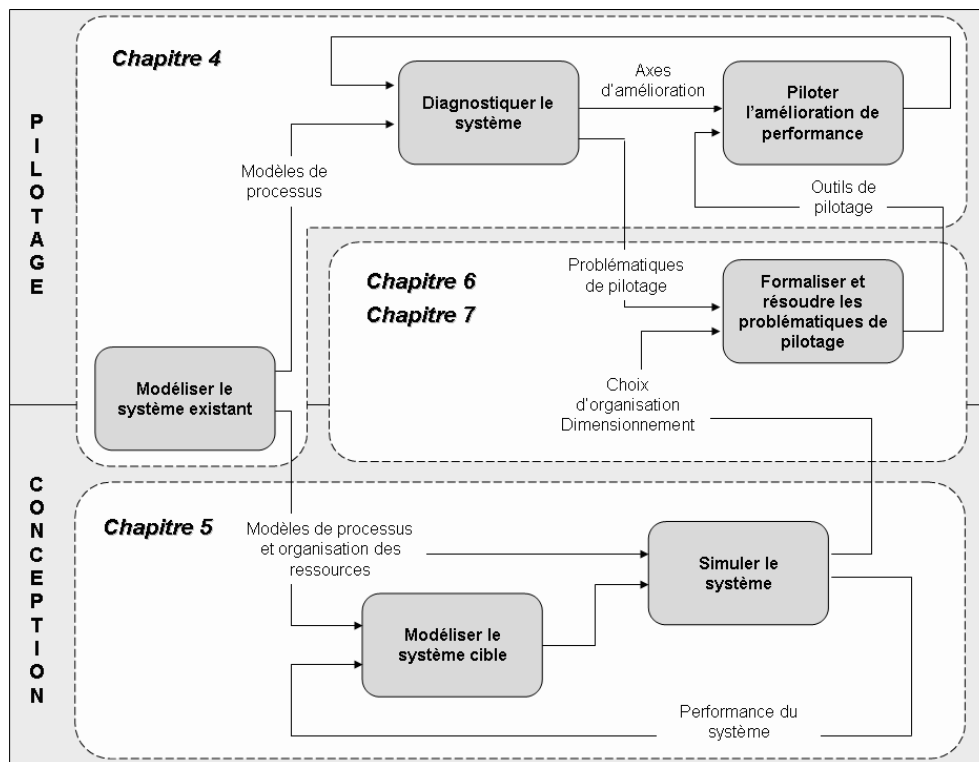


FIG. 1 – Démarche pour le pilotage et la conception des plateaux médico-techniques

Organisation du mémoire

Le mémoire est structuré en deux parties. La première partie présente le contexte actuel du regroupement hospitalier, les problématiques soulevées les mutations en cours au niveau du secteur chirurgical de l'hôpital et elle situe nos travaux par rapport à l'état de l'art. Elle comporte trois chapitres :

- Le chapitre 1 expose le contexte actuel du regroupement hospitalier ainsi que les enjeux auxquels sont confrontés les établissements de santé. Nous précisons les principes du regroupement hospitalier, en insistant sur ses implications au niveau du Plateau Médico-Technique (PMT).
- Le chapitre 2 présente les problématiques soulevées par le regroupement de PMT et les classe en deux catégories : celles liées à la réingénierie des architectures et des organisations, et celles relevant de l'exploitation et du pilotage de structures mutualisées. Une section est consacrée à la description des particularités du dimensionnement et de la planification des ressources humaines du PMT. Face aux besoins exprimés, nous introduisons la démarche d'aide à la décision qui constitue le fil conducteur du mémoire.
- Le chapitre 3 dresse un état de l'art sur les approches, méthodes, modèles et outils développés dans la littérature pour aborder la question de la modélisation des structures hospitalières, de l'évaluation de la performance, du dimensionnement et de la planification des ressources. Nous présentons également un panorama des approches proposées pour la résolution du problème de construction d'horaires de travail dans le milieu hospitalier, qui constitue l'une des problématiques de pilotage.

La seconde partie décrit notre démarche d'aide à la décision pour le dimensionnement et la planification des ressources humaines du PMT. Elle comporte 4 chapitres :

- Le chapitre 4 décrit notre démarche globale pour la conception et le pilotage des PMT. Cette démarche reposant sur la modélisation de l'existant, nous avons réalisé les modèles des processus opérants et de pilotage de deux des partenaires hospitaliers du projet HRP², possédant un bloc opératoire regroupé pluridisciplinaire. Nous présentons l'une des modélisations. Ces modèles, ainsi que ceux établis pour les autres partenaires par d'autres laboratoires, nous ont permis de confronter les pratiques et de faire émerger un modèle de processus générique issu de la fusion des bases d'expériences constituées. Ce modèle générique constitue l'une des briques de base d'un outil d'aide au dimensionnement et au choix d'organisation développé au sein du programme de recherche HRP².
- Le chapitre 5 aborde l'aspect conception de notre démarche et retrace les différentes étapes nécessaires à l'élaboration d'un dimensionnement robuste des ressources humaines du PMT : modélisation des processus et de la demande, spécification de l'organisation des ressources humaines, obtention de la courbe de charge par la simulation, construction des horaires de travail couvrant la charge, évaluation du dimensionnement par la simulation. Deux approches hybrides, alliant recherche opérationnelle et simulation, sont également proposées.

Les deux chapitres qui suivent, assurent la continuité du chapitre 5, puisqu'ils s'intéressent aux problèmes de construction d'emploi du temps de personnels mutualisés, et supposent les horaires construits et l'effectif dimensionné de manière à satisfaire au mieux la charge prévisionnelle.

- Le chapitre 6 est consacré à la résolution du problème de planification des infirmiers

anesthésistes (PPIA), qui constituent l'une des ressources humaines les plus mutualisées du PMT. Deux approches de modélisation et de résolution sont proposées puis comparées : l'une basée sur les techniques de Programmation Linéaire en Nombres Entier (PLNE), l'autre sur les principes de la Programmation par Propagation de Contraintes (PPC). Chacune des approches vise à obtenir le planning le plus équitable possible. Plusieurs solveurs de PLNE sont évalués, dont des solveurs libres, pour la résolution du problème réel rencontré au Centre Hospitalier de Valence.

- Le chapitre 7 développe un second problème de planification de personnel mutualisé : celui des médecins anesthésistes réanimateurs (PPMA). L'objectif recherché est de fournir une aide à l'attribution des activités de jours (hors gardes et astreintes) qui satisfasse autant que possible un ensemble de contraintes souples. Là encore, une modélisation en nombres entiers est proposée pour la résolution de ce problème et évaluée sur un cas réel.

Nous terminons notre mémoire par un bilan et nous discutons des perspectives de recherche future.

N.B. Dans un souci de clarté et de lisibilité, nous avons consigné les acronymes utilisés tout au long du mémoire dans un glossaire placé en annexe A. Le lecteur pourra également y trouver un rappel des principaux termes, liés au domaine hospitalier et au domaine du génie industriel, définis dans le corps des chapitres.

Première partie

Regroupements hospitaliers : contexte et problématique

Chapitre 1

Contexte du regroupement hospitalier

Dans ce chapitre nous situons le cadre général de nos travaux. Nous exposons le contexte et les enjeux actuels des établissements de santé, qui sont incités par les tutelles à regrouper leurs ressources. L'attention est ensuite particulièrement focalisée sur la description des activités, des flux et de la diversité des plateaux médico-techniques (PMT), qui rassemblent au sein d'une même structure les blocs opératoires de différentes spécialités.

Les systèmes de santé vivent depuis une dizaine d'années les mutations auxquelles ont été confrontées les entreprises de production de biens et le monde industriel dès les années 1975-1980, qui à l'époque les avaient poussés à adapter leur manière de travailler pour mieux répondre aux pressions du marché. De nouvelles exigences de productivité sont venues s'ajouter à celles de qualité et de sécurité des soins prodigués au patient. Tout comme pour d'autres pays occidentaux, dans le contexte actuel français, l'État prend des mesures en faveur d'une gestion plus rigoureuse des hôpitaux et incite les établissements de santé à de profondes mutations. L'enjeu majeur de ces mutations est la maîtrise des dépenses de santé, qui représentent environ 10% du PIB. Le vieillissement de la population, la progression des pathologies chroniques, la pénurie de personnels médicaux et soignants qui se profile, ainsi que l'évolution des exigences des usagers, sont autant de facteurs qui poussent les pouvoirs publics à engager des réformes structurelles du système de soins.

Les restructurations hospitalières incitées par les tutelles ont amené un grand nombre d'hôpitaux français à s'investir dans des projets de modernisation de leurs infrastructures et de leurs organisations. Une des stratégies préconisée est notamment le regroupement de moyens techniques et humains, qui se matérialise dans le secteur chirurgical par le regroupement des blocs opératoires d'un ou plusieurs hôpitaux dans des structures de grande taille appelées plateaux médico-techniques (PMT). Le PMT est un lieu de convergence des patients séjournant à l'hôpital pour une intervention chirurgicale, il fait appel à une multitude de compétences (médicales, techniques, soignantes) et concentre une forte part du budget de l'hôpital. La création du PMT représente un enjeu de haute importance pour l'établissement qui se dote d'une telle structure pour des dizaines d'années à venir. Cette mutation est notamment l'occasion de se questionner sur les pratiques de chacun et de réfléchir à un mode d'organisation commun, qui autorise le partage des ressources. Ainsi le PMT est d'une part un lieu de décloisonnement structurel rassemblant des services de différentes spécialités par la mutualisation

des ressources, et d'autre part un lieu de décloisonnement organisationnel soumis à des règles de fonctionnement communes. Le rapprochement de structures ayant l'habitude de travailler indépendamment avec une allocation sectorielle des ressources pose notamment des problèmes en termes de ressources humaines.

Dans ce premier chapitre, nous abordons tout d'abord le contexte actuel de modernisation des systèmes de santé en mettant l'accent sur les enjeux actuels des établissements, et plus particulièrement sur les projets de regroupement préconisés par les tutelles (section 1.1). Notre attention se focalise ensuite sur le plateau médico-technique qui est un des secteurs de l'hôpital le plus concerné par le regroupement des ressources. Les processus s'y déroulant ainsi que les différents types de plateaux médico-techniques rencontrés sont précisés (section 1.2). La construction de ces nouvelles installations soulève un certain nombre de problématiques que nous exposons dans le chapitre suivant.

1.1 Le contexte hospitalier du regroupement

1.1.1 L'hôpital : un système complexe

L'hôpital, très souvent premier employeur d'un bassin de population¹ (Vigneron, 2000), est une structure complexe, dans laquelle diverses fonctions sont assurées, par divers corps de métier. Outre les activités de soins réalisées par les médecins et les personnels soignants, on trouve à l'hôpital un secteur de logistique et administratif. Moisdon et Tonneau (1999) classent les unités de l'hôpital en cinq secteurs, qui peuvent être regroupés en deux grandes catégories (Kharraja, 2003) :

1. les secteurs liés à la trajectoire du patient :
 - Les services cliniques : ce sont les lieux d'hébergement des patients, également appelés unités de soins. Équipés de peu de technologie, les principales ressources matérielles sont les lits (hormis pour l'unité de soins intensifs). Ce secteur implique du personnel soignant (infirmiers, aides-soignants, etc.) et médical.
 - Les services de consultation : services également peu technologiques, ils peuvent être inclus dans le service clinique mais tendent à être regroupés dans des unités de consultation polyvalentes (souvent situées au rez-de-chaussée). Le service d'accueil des urgences (SAU) fait partie de ce secteur.
 - Le plateau technique : ce plateau regroupe le plateau de biologie, d'imagerie médicale et de chirurgie. Il est le lieu de réalisation des actes thérapeutiques ou d'aide au diagnostic, et a pour but de répondre aux demandes des services cliniques et de consultation. A des besoins technologiques conséquents s'ajoute la nécessité d'une formation spécifique devant être suivie par les personnels.
2. les secteurs d'appoint et de support :
 - Le secteur logistique : il gère les activités de restauration, de blanchisserie, de transport des malades, de stockage, de préparation et de distribution des produits médicaux (consommables, médicaments, etc.), de gestion et d'évacuation des déchets. Certaines des activités peuvent être prises en charge totalement par l'hôpital ou bien sous-traitées à des sociétés externes.
 - Le secteur administratif : ce secteur regroupe la direction générale, le service financier, le service de gestion des ressources humaines, le service informatique. Il assure des tâches telles que la facturation des soins en liaison avec les organismes débiteurs, il

¹Dans beaucoup de petites et grandes villes l'hôpital est le principal employeur. De manière globale, c'est aussi le cas de 14 régions sur 22.

gère le dossier administratif du patient, il met en œuvre les projets de modernisation (système d'information, etc.).

La diversité des fonctions et des acteurs entrant en jeu dans ces secteurs, qu'ils soient rattachées ou non à l'activité de soins, font de l'hôpital un système complexe dont la gestion soulève un certain nombre de difficultés. Pham (2002) identifie les causes de la complexité des établissements de santé comme venant de : la multiplicité des missions, la hiérarchisation, le cloisonnement, et la diversité des métiers, l'hétérogénéité des équipements et des installations. Selon elle, les hôpitaux, et particulièrement ceux du secteur public, sont soumis à plusieurs contraintes et à plusieurs paradoxes :

- Les contraintes : d'exigence de sécurité sanitaire (d'autant plus d'actualité avec la lutte contre les infections nosocomiales, ou l'affaire du sang contaminé), de rôle social d'accueil de tous, de continuité des soins, de responsabilité médicale.
- Le paradoxe court terme / long terme : à court terme tous les moyens doivent être mis en œuvre pour satisfaire les patients et les soigner dans les meilleures conditions, alors qu'à long terme l'organisation doit se révéler rentable financièrement.
- Le paradoxe global / local : la stratégie d'un service d'hôpital peut être différente de la stratégie de l'établissement, de même que les performances locales peuvent ne pas refléter les performances globales et inversement.

D'autre part l'activité de soins est en elle-même une activité complexe, spécifique à chaque malade, qui se différencie d'une activité de production industrielle basée sur des gammes de fabrication connues à l'avance. La complexité des systèmes de santé vient également du fait qu'ils reposent sur des ressources humaines possédant de fortes compétences et dotées d'un pouvoir de décision important, et que le patient est à la fois le « produit » et le « consommateur » du soin, tout en étant « producteur » du soin car participant à l'élaboration de la trajectoire de soins (Marcon, 2004). Cette trajectoire de soins possède une grande part d'incertain et de variabilité, depuis son origine (prévue ou survenant sans être planifiée) jusqu'à son exécution (incertitude des durées) en passant par sa construction (protocole standard ou élaboration progressive).

Dans le contexte actuel de rationalisation des dépenses de santé, de transformation des pratiques, d'évolution de la démographie médicale et des patients, l'hôpital est confronté à d'autant plus de défis. Comme dans toute démarche de rationalisation industrielle, il convient de considérer le traditionnel triptyque coût/qualité/délai, le but étant de trouver le meilleur arbitrage entre les trois critères. Comme le souligne Minvielle (1996), quand il s'agit de prise en charge du patient, le critère qualité domine les autres, en raison de sa liaison avec la sécurité et le risque clinique. Aujourd'hui, tout en donnant une importance à la qualité, les autres critères sont de plus en plus pris en considération (coût, délai, conditions de travail).

1.1.2 Enjeux actuels des hôpitaux

Maîtrise des dépenses de santé

En 1990, les dépenses de santé occupaient une part de la richesse nationale de près de 9% (Soubié *et al.*, 1994). Ce chiffre n'ayant cessé d'augmenter depuis, la France se place aujourd'hui parmi les plus gros consommateurs de santé au monde, derrière les États-Unis, le Canada ou l'Allemagne. Depuis les années 90, les tentatives de maîtrise des moyens et des budgets ont donné lieu à un grand nombre de mesures, telles que la mise en place du Schéma Régional d'Hospitalisation (SROS) en 1991, la première utilisation du Programme de

Médicalisation du Système d'Information (PMSI) en 1992, la création des Agences Régionales d'Hospitalisation (ARH) en 1996.

Le SROS organise dans chaque région la répartition géographique des équipements et des activités. Plus opérationnel que la carte sanitaire mise en place dans certaines régions dès 1973, qui détermine les moyens nécessaires pour prendre en charge la population et sert de base à la répartition de l'offre sur le territoire, le SROS décrit le suivi des modifications de l'offre de soins. Dans le cadre du Plan Hôpital 2007, la carte sanitaire a été intégrée au SROS en vue de simplifier la planification de santé. L'ARH a pour mission de rationaliser l'offre de soins, et se charge en particulier de la rédaction et du suivi du SROS. Cette décentralisation du pouvoir vers les unités régionales permet de gagner en efficacité et de prendre en compte les besoins de proximité. Le PMSI est un programme utilisé principalement dans le but de mieux connaître l'activité des établissements, à des fins de comparaison et d'évaluation des besoins réels. Pour les établissements c'est aussi un outil de mesure de performance interne.

Aujourd'hui, c'est la réforme hospitalière dans le cadre du Plan Hôpital 2007, annoncé par Jean-François Mattei (ministre de la Santé) en 2002, qui tente de moderniser l'hôpital. Le Plan Hôpital 2007 vise à donner plus de facilités aux professionnels pour la réalisation de leurs projets, à réformer les modes de financement des établissements publics et privés et à leur offrir de nouvelles possibilités de développement. Concrètement, le Plan Hôpital 2007 a été divisé en plusieurs chantiers :

- La relance de l'investissement hospitalier en attribuant un budget de 6 milliards d'Euro sur 5 ans,
- La mise en place de la Tarification à l'Activité (T2A),
- La simplification de la planification de la santé, en attribuant un pouvoir accru aux ARH (intégration de la carte sanitaire au SROS),
- Le rapprochement entre les structures publiques et privées,
- La modernisation de la gouvernance des hôpitaux.

Le principe de tarification à l'activité tend à se répandre dans de nombreux pays occidentaux. Les Etats-Unis, innovant dans le domaine, l'ont déjà adopté depuis une quinzaine d'années (Beaudrap, 2003), en s'appuyant sur le découpage des séjours en DRG (*Diagnosis Related Group*), traduisant une homogénéité à la fois économique (l'équivalence des ressources consommées) et médicale des cas pris en charge. L'Allemagne, la Suède, la Suisse, la Norvège, le Danemark, le Québec, la Grande Bretagne, le Portugal, la Belgique, l'Irlande et l'Italie, ont eux aussi basé leur système de régulation des dépenses hospitalières sur la classification des groupes de séjours. Bien que des différences soient à noter dans chacun des groupages, le renforcement du lien entre classification et tarification est belle et bien adoptée par tous ces pays.

La France n'échappe pas à ce mouvement de réforme des modes de tarification. La mission Tarification A l'Activité (T2A), nouveau mode de répartition des budgets des établissements de santé, a été mis en place en France à partir du 1er janvier 2004 dans le cadre du Plan Hôpital 2007. L'un des objectifs de cette réforme est de mettre fin aux limites du système de dotation globale en vigueur depuis 1985 pour financer les hôpitaux publics et privés participant au service public, les rapprochant ainsi des rétributions des cliniques privées sous objectif national quantifié (OQN). Ainsi la T2A vise à parvenir à une plus grande équité des financements entre les établissements publics et privés français. Cette refonte permet de financer les hôpitaux selon les activités qu'ils développent, en terme de volume et de nature qui traduisent l'importance des ressources mobilisées pour leur réalisation. La valorisation des budgets alloués s'appuie largement sur le PMSI. Les séjours sont regroupés en Groupes Homogènes de Séjour (GHS)

proches des DRG utilisés en Amérique du Nord, et sont rétribués en fonction de la pathologie du patient, de sa gravité, de la durée de séjour, des examens et des actes pratiqués pendant le séjour. Ce passage vers une tarification aux actes réalisés a pour conséquence d'homogénéiser les rétributions, mais également d'inciter cliniques et hôpitaux à adopter des organisations plus efficaces.

Évolution de la démographie médicale et paramédicale

D'après le rapport Berland (2002), il n'y a jamais eu autant de professionnels de santé qu'actuellement. Pourtant l'ensemble des acteurs dit rencontrer des difficultés de plus en plus importantes dans leur exercice public ou privé, salarié ou libéral quel que soit leur lieu d'exercice, zone urbaine ou zone rurale. Les raisons de ce malaise, que nous développons plus bas, sont multiples telles que : le vieillissement du corps médical, la féminisation de la profession, le vieillissement de la population et la lourdeur grandissante de sa prise en charge, le consumérisme médical, les contraintes administratives, les contraintes légales, etc.

Le *numerus clausus* limitant le nombre d'étudiants en médecine couplé au vieillissement démographique général, commence à avoir pour conséquence une forte baisse prévisionnelle du nombre des médecins dans les années à venir. Certaines spécialités et certaines régions semblent plus touchées que d'autres, bien qu'il soit difficile de prévoir la répartition des médecins : entre les généralistes et les spécialistes, sur les spécialités et géographiquement. Néanmoins, la DRESS (Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques) prévoit une diminution des médecins anesthésistes entre 1998 et 2020 pouvant aller jusqu'à 35%. Certaines spécialisations médicales, comme la chirurgie ou l'anesthésie, semblent d'ailleurs être de moins en moins attractives auprès des étudiants, ceci à cause des conditions d'exercices qui peuvent largement varier d'une spécialité à l'autre. Des mises en garde contre une augmentation excessive du *numerus clausus* ont été émises (Piganeau, 2004). Le risque de cette augmentation, appelé l'effet « yoyo », est de créer à nouveau des promotions abondantes, qui à leur départ en retraite créeront un vide, qu'il faudra à nouveau combler. D'autres mesures, permettant de palier la pénurie de médecins devront donc être mises en place, telles que le regroupement et la mutualisation des ressources.

Une autre évolution majeure que connaît le corps médical est une féminisation croissante de la profession qui correspond à 57% pour la tranche d'âge des moins de 34 ans. Tous âges confondus, les femmes représenteront à l'horizon 2020 50% des médecins en exercice. S'orientant plus souvent vers une activité salariée exclusive, contrairement aux hommes, les femmes sont également plus nombreuses à préférer les temps partiels et l'aménagement du temps de travail. Ces nouvelles contraintes nécessitent la mise en place d'organisations solides et flexibles, permettant de satisfaire l'ensemble des exigences des médecins ainsi qu'une qualité des soins toujours croissante.

Au niveau de l'évolution des professions de soignants, la croissance des nombres d'infirmiers est régulière depuis les années 1970 (Berland, 2002). En 2000, en réponse aux besoins supplémentaires créés par l'effet des 35 heures et l'essor rapide des départs en retraites, les quotas de formation ont été augmentés, assurant ainsi une compensation des pertes. Cependant il arrive encore que les recrutements effectifs soient difficiles et que les créations de postes ne soient pas pourvues, faute de candidatures (Piquemal, 2002). L'Aménagement et la Réduction du Temps de Travail (ARTT), que ce soit pour le personnel médical ou le personnel soignant, a par ailleurs amené de nouvelles contraintes réglementaires telles que la limitation du temps travail, le respect du repos hebdomadaire ou du repos de sécurité après un travail de nuit. Ces contraintes sont parfois difficiles à satisfaire, notamment dans les services assurant

une permanence des soins. Les nouvelles contraintes liées à la mise en place de la RTT, ainsi que la pénurie de personnel soignant qui se profile, renforce le besoin de mettre en place des organisations efficaces qui optimisent leur temps de travail, tout en conservant une qualité dans les conditions de travail.

Évolution de la demande de soins et des mentalités

Les augmentations des dépenses de santé peuvent aussi s'expliquer par l'évolution de la population et du comportement des patients. Le vieillissement de la population est un des facteurs ayant le plus d'impact sur la modification de la demande de soins et notamment son accroissement en terme de volume. Nous vivons plus longtemps, et malgré l'amélioration de l'état de santé des personnes âgées, les besoins de soins en fin de vie se font de plus en plus conséquents.

Avec l'évolution des techniques médicales et chirurgicales, telles que l'endoscopie, la radiologie interventionnelle, la chirurgie assistée par ordinateur, les opérations deviennent de plus en plus courtes, de moins en moins invasives, et permettent une sortie plus rapide du patient ainsi qu'un gain de confort. Avec le développement de la chirurgie ambulatoire, qui réduit la durée de séjour d'un patient à une journée sans nuit d'hospitalisation, la maîtrise des nouvelles techniques, la sécurisation, les opérations deviennent de plus en plus accessibles et communes, générant également une augmentation de la demande de soins et des coûts associés.

Le droit à la santé, particulièrement dû au système de couverture sociale français, est aujourd'hui un acquis pour tous. Au delà de ce droit d'accès aux soins, les patients sont de plus regardant sur les moyens employés et les résultats obtenus. Citons également une augmentation du niveau de vie, qui accentue l'augmentation de la demande de soins et de l'exigence des patients.

1.1.3 Regroupement préconisé par les tutelles

Les restructurations hospitalières, incitées depuis une dizaine d'années, sont préconisées par les tutelles dans le but de fournir un service de qualité qui réponde aux besoins de la population. Les ARH préconisent notamment aux établissements de privilégier le travail en réseau et le rapprochement de structures. Ces restructurations peuvent donner lieu à la fusion entre centres de santé, à la coopération, ou encore au regroupement d'unités disjointes. Les différentes formes juridiques que peuvent prendre les regroupements d'établissements sont brièvement décrites en annexe B. Dans la suite, nous nous intéressons davantage au processus de regroupement des ressources et aux choix d'organisation.

Dans un récent rapport, Vallancien (2006) dresse un état de la situation de la centaine d'hôpitaux français ayant une faible activité chirurgicale, qui encourent selon lui un risque trop élevé en terme de sécurité des soins. Les raisons énoncées de ce risque potentiel sont : le sous-équipement, le manque de personnel, le faible nombre d'actes classants et la faible variété des cas traités qui ne permettent pas au chirurgien de maintenir les compétences à leur niveau, l'ouverture limitée du bloc opératoire qui altère la permanence des soins. L'auteur préconise d'organiser les blocs opératoires notamment en regroupant les hommes et les matériels sur des plateaux techniques « ouverts toute l'année jour et nuit sans discontinuité des soins chirurgicaux », en concentrant les urgences chirurgicales sur un nombre plus réduit de sites et en accélérant les partenariats public-privé. Sa thèse vient corroborer de précédents rapports qui annonçaient des mesures à l'attention des établissements ayant une activité faible de chirurgie

(moins de 2000 interventions par an). Les possibilités d'économie d'échelle que promettent les regroupements de structures, sont remises en cause par d'autres auteurs (Clément, 2004), qui prônent certes les regroupements des fonctions logistiques (pharmacie, stérilisation, restauration, lingerie) ainsi qu'une complémentarité des soins, mais rejettent la fermeture des hôpitaux de proximité, qui rendent un service appréciable sans un excès de risque.

Malgré les controverses, de nombreux établissements ont choisi le chemin du regroupement, facilité par le Plan Hôpital 2007 et les enveloppes budgétaires distribuées. En suivant la stratégie préconisée par les tutelles, ces établissements se dirigent vers le regroupement des moyens : tant dans le but d'avoir le volume d'activités suffisant pour assurer un certain niveau de qualité des soins, que pour mutualiser les ressources afin de réaliser des économies d'échelle, disposer des ressources humaines nécessaires, et permettre d'acquérir et de renouveler régulièrement les matériels.

Cette stratégie est mise en œuvre dans le secteur chirurgical par la création de plateaux médico-techniques (PMT). Ce secteur regroupant les activités de chirurgie, d'obstétrique, d'anesthésie, de réanimation et d'imagerie (DHOS, 2003), constitue en effet une ressource critique, dont l'exploitation représente à elle seule une partie importante du budget de fonctionnement des établissements de santé (Marcario *et al.*, 1995). Les regroupements de PMT ne concernent pas uniquement les fusions d'hôpitaux, mais également le regroupement de secteurs chirurgicaux répartis sur des sites distants, à l'intérieur d'un même établissement. Du fait de leur évolution historique, de nombreux centres de santé possèdent des structures pavillonnaires correspondant à des secteurs de spécialité, avec des ressources matérielles et humaines ainsi qu'un mode de gestion qui leur sont propres. La nécessité de rationalisation des moyens les pousse à engager une démarche de regroupement des activités de chirurgie, qui aboutit à la mise en place de blocs opératoires multidisciplinaires de grande taille, où les intervenants de différentes spécialités travaillent sur un site commun avec des règles de fonctionnement communes et une gestion centralisée des ressources.

Dans la section suivante, nous abordons plus en détails les particularités du plateau médico-technique à l'hôpital, les processus qui s'y déroulent, ainsi que les différentes configurations envisageables pour une future structure.

1.2 Le regroupement de plateaux médico-technique (PMT)

1.2.1 Qu'est ce qu'un plateau médico-technique ?

Un groupe de travail constitué en 2002 (DHOS, 2003) a eu pour mission de proposer des orientations nationales sur l'implantation territoriale et l'organisation des plateaux techniques. La définition qu'il donne du plateau technique est la suivante : « Le plateau technique inclut la chirurgie, l'obstétrique, la pédiatrie, l'anesthésie-réanimation, les explorations fonctionnelles et les disciplines interventionnelles, l'imagerie et la biologie dans une perspective d'accès à des soins de qualité 24 heures sur 24 pour la population du territoire qu'il dessert ». Dans une parution du périodique « Études et Résultats » de la DREES, (Baubeau et Thomson, 2002) l'auteur définit le plateau technique de chirurgie (ou d'anesthésie), comme désignant « 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'environnement géographique au sein duquel cette activité est pratiquée. »

Ce que l'on peut retirer de ces deux définitions est que le plateau technique de l'hôpital

est constitué de plusieurs plateaux techniques, parmi lesquels on trouve le plateau technique d'imagerie, celui de chirurgie, celui de biologie, etc. Le plateau technique de chirurgie est, quant à lui, composé d'un ou plusieurs blocs opératoires, au sein desquels sont réalisés les actes de chirurgie et d'anesthésie. Autrefois dispersés géographiquement et appartenant à une seule spécialité, les blocs opératoires se veulent aujourd'hui de plus en plus concentrés et pluridisciplinaires, regroupant ainsi les activités de chirurgie de plusieurs spécialités, les activités d'anesthésie, voire de radiologie interventionnelle, d'endoscopie et d'obstétrique. On parle alors de plateau technique de chirurgie ou de plateau médico-technique, que nous considérons ici comme synonymes. La figure 1.1 présente les différentes parties du plateau technique de l'hôpital, dont fait partie le plateau médico-technique.

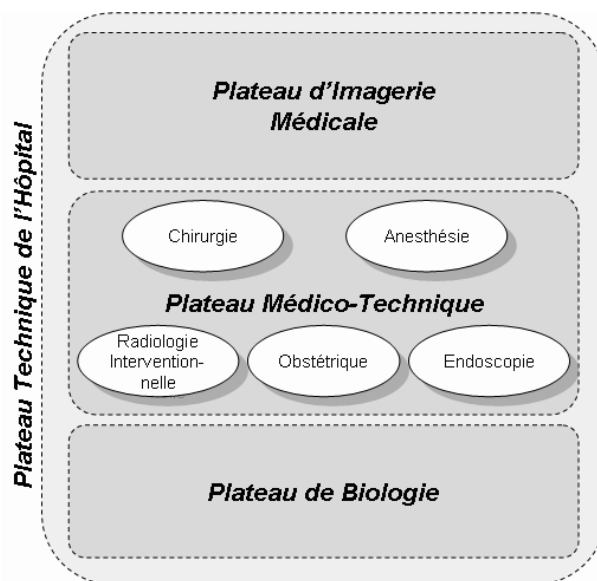


FIG. 1.1 – Le plateau médico-technique est une partie du plateau technique de l'hôpital

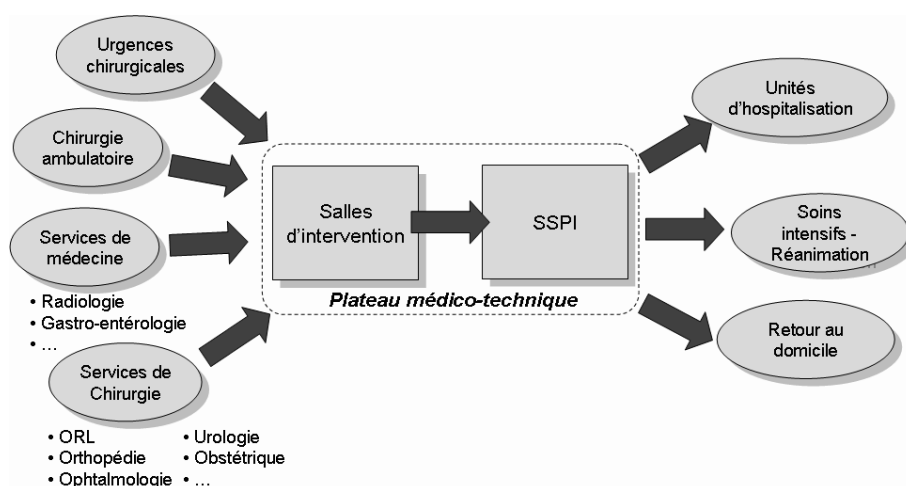


FIG. 1.2 – Flux entrants et sortants du plateau médico-technique (Marcon, 2004)

Le plateau médico-technique, est une infrastructure qui comporte deux secteurs : les salles d'intervention et les salles de surveillance post-interventionnelle (SSPI). Ces salles d'intervention peuvent être de nature chirurgicale, obstétricale ou exploratoire. Comme schématisé sur la figure 1.2, vers le plateau médico-technique converge l'ensemble des flux de patients provenant des différents services de chirurgie, des urgences, de la chirurgie ambulatoire, et des services de médecine tels que la gastro-entérologie (pour les endoscopies), et la radio-

logie (radiologie interventionnelle). Sont ensuite générés des flux de patients vers les unités d'hospitalisation, les soins intensifs, la réanimation et le domicile du patient dans le cas de la chirurgie ambulatoire.

1.2.2 La chaîne de valeur du PMT

Le plateau médico-technique constitue un maillon de la chaîne logistique globale du processus de prise en charge du patient au sein des systèmes hospitaliers (Besombes *et al.*, 2004). Cette chaîne logistique est définie par l'Association Française pour la Logistique comme « la chaîne couvrant la gestion des flux de produits, matières, patients, services et informations qui s'y rapportent, du fournisseur jusqu'au bénéficiaire, à un niveau défini de performance, au service de la qualité et de la sécurité des soins prodigués aux patients » (Commission logistique hospitalière, 2000). Cette vision de la chaîne logistique peut tout à fait s'inscrire dans l'approche du modèle SCOR (Scott, 2001; Thierry, 2003; Sampierie et Bongiovanni, 2000), qui définit une technique d'analyse, de diagnostic, de conception et de mise en œuvre du *Supply Chain Management*, dont le but est d'analyser, d'évaluer, et d'améliorer la chaîne logistique globale. Le modèle SCOR repose sur l'identification de 5 grands processus-clés désignés sous les termes « Plan, Source, Make, Deliver, Return ».

Le plateau technique peut ainsi être vu comme un élément constituant de la chaîne d'entités intervenant dans le processus de soins du patient, tout comme les services de consultation, les services d'hospitalisation, l'accueil des urgences, la réanimation, les laboratoires, la stérilisation, avec lesquelles le plateau médico-technique échange constamment des patients, du matériel et des informations. Dans ce cadre, dans (Besombes *et al.*, 2004) nous proposons de positionner le plateau médico-technique au sens de la chaîne de valeur de Porter (Porter, 1986; Gervais, 2002) et de mener une réflexion stratégique sur les activités créatrices de valeur. Dans le contexte actuel de rationalisation des coûts, la création de valeur ne se limite pas à la composante de qualité des soins, mais elle comprend également la composante de valeur économique créée. La chaîne de valeur proposée est représentée par la figure 1.3. Tout comme le propose Porter dans le contexte des entreprises (Gervais, 2002), elle caractérise les activités du PMT en fonction de leur capacité à apporter de la valeur, en les classant en deux groupes : les activités créatrices de valeur et les activités de soutien.

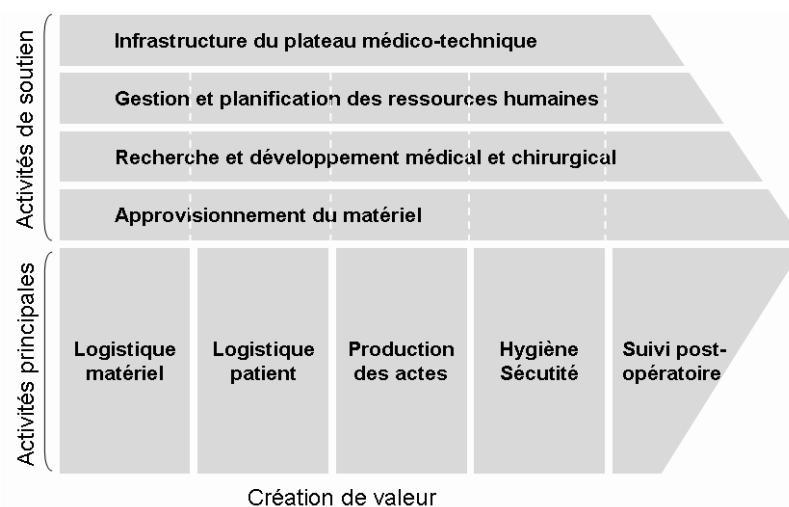


FIG. 1.3 – Chaîne de valeur du PMT inspirée de la chaîne de Porter

Les activités principales

Les activités créatrices de valeur ou activités principales sont celles qui entrent en jeu dans le processus de soin du patient. Les auteurs distinguent cinq grandes fonctions que sont : (1) **la logistique du matériel**, regroupant les activités liées au stockage, à la préparation et à l'affectation des moyens matériels nécessaires à une intervention ; (2) **la logistique du patient**, couvrant le lien entre les activités de consultations, inscription au programme opératoire, accueil, et acheminement du patient au bloc opératoire, ainsi que la prise en charge du brancardage retour en unité d'hospitalisation ; (3) **la production des actes**, concernant les activités de réalisation des actes dans toutes les phases de l'intervention (induction, anesthésie, opération, réveil), ainsi que les activités de contrôle, de suivi, de traçabilité des actes ; (4) **l'hygiène et la sécurité**, regroupant les activités de préparation, de nettoyage et de traçabilité d'utilisation des salles opératoires et des équipements (plateau de transfert, lits, etc.) ; (5) **le suivi postopératoire**, fonction concernant les activités de prescriptions anesthésique et chirurgicale et de visites post-opératoires.

Les activités de soutien

Les activités de soutien viennent en appui des activités principales en assurant : (1) la recherche et le développement médical ; (2) l'infrastructure du PMT (activités administratives, planification, programmation opératoire, affectation des ressources humaines et matérielles, déclaration des actes réalisés, suivi de performance) ; (3) la gestion de la disponibilité du matériel (achats, choix des fournisseurs, stratégies de réapprovisionnement des dispositifs médicaux, médicaments, équipements, linge, maintenance des équipements) ; (4) la gestion et la planification des ressources humaines (management du personnel, répartition des ressources humaines sur les salles et les tâches, définition des profils de postes, recrutement, formation).

L'analyse de cette chaîne met en évidence la nécessaire coordination de chacune des activités principales et de soutien pour la création globale de valeur et de qualité de soin au sein du PMT. Par ailleurs, le regroupement des blocs opératoires en un PMT unique pose la question des activités de la chaîne qui vont rester spécifiques à chaque spécialité, et de celles qui vont faire l'objet de mutualisation et de partage de ressources.

1.2.3 Le processus de soin du patient

Différemment du modèle de Porter, dans la suite nous désignerons l'activité « Logistique du patient » de la chaîne de valeur du PMT par le processus de prise en charge du patient pour une intervention chirurgicale. Celui ci peut être découpé en trois phases : la phase préopératoire, la phase peropératoire et la phase postopératoire. Au sein du plateau médico-technique, durant la **phase peropératoire**, entre l'entrée du patient et sa sortie, le processus de soins subit peu de variations entre les modes de prise en charge. La figure 1.4 présente ces étapes communes. Une fois admis au bloc opératoire, un créneau ayant été alloué pour son intervention, le patient est amené dans la salle d'opération (ou dans une antichambre de la salle d'opération appelée salle d'induction) pour y subir l'induction. Une fois l'intervention achevée en salle d'opération, le patient est transféré en SSPI (salle de réveil) jusqu'à ce qu'il soit suffisamment réveillé et qu'il soit jugé apte par un médecin anesthésiste à regagner son service d'hospitalisation.

Selon l'origine des flux de patients la **phase préopératoire** du processus de soins diffère :

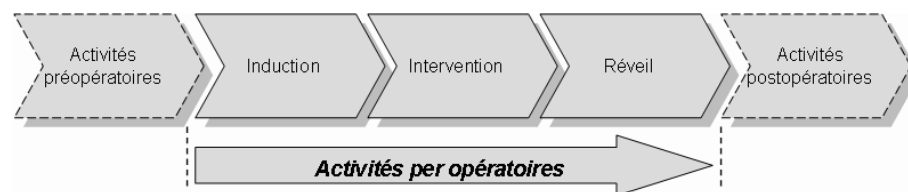


FIG. 1.4 – Processus de soins pour les patients passant par le PMT

1. Dans le cas où il s'agit de **chirurgie réglée** pour laquelle le patient nécessite une **hospitalisation** en unité de soins, le processus débute par la consultation chirurgicale préopératoire qui donne ensuite lieu à une consultation anesthésique. A l'issue de ces consultations, l'intervention ayant été décidée par le chirurgien et autorisée par le médecin anesthésiste, celle-ci est insérée dans le programme opératoire. La veille ou le matin de l'intervention, le patient est accueilli dans une unité d'hospitalisation, où il est préparé pour recevoir l'intervention (soins d'hygiène, prémédication, etc.). Le patient est ensuite acheminé par des brancardiers de l'unité au plateau médico-technique, où il est accueilli, puis transféré en salle.
2. Les patients traités en **ambulatoire** entrent à l'hôpital le matin de l'intervention et rejoignent leur domicile le soir-même. La phase préopératoire du processus de soin ressemble beaucoup à celle de la chirurgie réglée, à l'exception du fait que le patient est accueilli à l'hôpital le matin de l'intervention, et qu'il ne dispose pas nécessairement d'un lit dans une unité, mais d'une place d'ambulatoire.
3. Les patients nécessitant une intervention chirurgicale d'**urgence**, c'est-à-dire non inscrite au programme le matin du jour considéré, 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. Les patients internes séjournant déjà à l'hôpital ont un dossier médical à jour et n'ont pas besoin de consulter à nouveau avant de subir l'intervention d'urgence. Par contre, s'il s'agit d'un cas urgent externe, le patient doit obligatoirement, outre avoir été enregistré administrativement, avoir été vu par un médecin anesthésiste avant d'être admis en salle d'opération [Décret 94/1050, 1994]. L'insertion de l'intervention dans le programme opératoire dépend de la capacité disponible du plateau médico-technique et du degré de l'urgence. L'arrivée d'un cas urgent nécessite souvent de repenser la programmation prévisionnelle (Hamami *et al.*, 2003).

Les activités de la **phase postopératoire** du processus de soins du patient sont liées d'une part au mode de prise en charge du patient et d'autre part à l'état du patient à l'issue de l'intervention.

1. **Cas d'une chirurgie réglée ou d'urgence sans complications.** A la fin de la phase de réveil, une fois le patient autorisé à regagner son service, celui-ci est transféré par des brancardiers du plateau médico-technique vers l'unité de soins qui l'hébergera. En suivant les prescriptions rédigées par les médecins, les infirmiers des unités administrent les soins aux patients.
2. **Cas d'une chirurgie ambulatoire.** Les patients opérés en ambulatoire ont en général besoin d'un temps de réveil relativement court avant de recouvrer un état de conscience suffisant qui leur permette de regagner leur place ou leur lit d'ambulatoire. En général, les prescriptions sont assez succinctes et les patients ne nécessitent pas de soins infirmiers lourds. A l'issue de cette étape, ils regagneront leur domicile.
3. **Cas d'une intervention suivie de complications.** Quel que soit le mode de prise en charge du patient au bloc opératoire, si les suites de l'intervention le nécessitent, celui-ci

peut être transféré dans le service des soins intensifs ou en réanimation, ou dans le cas de l'ambulatoire vers une unité d'hospitalisation.

1.2.4 Variété des plateaux médico-techniques

Dans le paysage hospitalier français, il est rare de trouver deux établissements hospitaliers qui possèdent un plateau médico-technique similaire. En effet, il existe un grand nombre de critères qui nous permettent de qualifier un plateau médico-technique et qui selon nous ont un impact fort sur l'organisation à adopter pour le gérer. La structure juridique de l'établissement, les modes de prise en charge qu'il assure, la dispersion des activités du plateau médico-technique ainsi que les configurations architecturales choisies, constituent des éléments de base pour faciliter la caractérisation des plateaux médico-techniques.

Structure juridique de l'établissement

Chaabane *et al.* (2004a) se sont interrogés sur l'impact de la structure juridique des établissements de santé français sur l'organisation et sur les mutations de l'organisation des blocs opératoires. En s'attachant à décrire les différents types d'établissements de santé ainsi que leurs missions respectives, les auteurs analysent les activités hospitalières et les raisons des mutations de l'organisation des blocs opératoires pour chaque type d'établissements. L'incidence de la forme juridique sur l'organisation des blocs opératoires a été mise en exergue à partir des évolutions des blocs opératoires, de l'application des lois hospitalières concernant ce secteur et de l'identification des différents nœuds de pouvoir. Ce critère est inévitablement à prendre en compte pour la caractérisation des plateaux médico-techniques.

On distingue trois grandes structures juridiques : les établissements publics, les établissements privés à but lucratif, et les établissements privés participant au service public hospitalier (PSPH). Historiquement, de par leur mode de financement et de par leurs objectifs différents, les établissements publics et privés ont adopté des formes d'organisation différentes. Aujourd'hui la mise en place récente de la Tarification A l'Activité (T2A) dans tous les types d'établissements français, correspondant à une modification de l'allocation des ressources financières, vise à parvenir à une plus grande équité des financements entre les établissements publics et privés français. Reste que les objectifs des secteurs privé, public et privé à but non lucratif ne sont pas les mêmes à la base et orientent donc fortement les différentes catégories d'établissements vers la spécialisation de l'activité, qui semble se confirmer dans l'organisation des plateaux médico-techniques (Baubeau et Thomson, 2002).

Les missions des établissements de santé sont relativement reliées à leur statut. En effet les centres hospitaliers associés à des facultés de médecine, devenant des CHU, ont des missions d'enseignement et de recherche qui n'existent pas obligatoirement dans les autres catégories, et qui viennent s'intégrer à la mission de soin.

La nature de l'établissement oriente le développement de ses activités, notamment celles du plateau médico-technique. On assiste à une spécialisation des cliniques vers la chirurgie de courte durée et ambulatoire, alors que les centres hospitaliers publics et privé participant au service public hospitalier (PSPH) développent davantage l'urgence, l'obstétrique et les explorations (imagerie interventionnelle et endoscopie, comme alternative à la chirurgie). Ceci donne lieu à la mise en place de plateaux médico-techniques comportant plus de salles de chirurgie dans le cas du privé. La nature programmable d'un grand nombre des actes effectués en cliniques (ainsi que leurs durées) permet de prévoir un grand nombre d'actes successifs

dans une même salle d'intervention. Dans le cas des hôpitaux public ou PSPH, qui assurent une mission d'accueil et de traitement des urgences, la nécessité de faire face à tout moment à l'arrivée d'un imprévu impose soit de maintenir des salles libres réservées à l'urgence, soit d'aérer les plannings en prévision d'une éventuelle urgence à intercaler. Le choix des spécialisations des établissements en fonction des catégories juridiques, a une influence directe sur la configuration du plateau médico-technique, son organisation et ses règles de fonctionnement.

Modes de prise en charge

Les modes de prise en charge correspondent aux différents flux de patients qui entrent dans le plateau médico-technique pour subir une intervention. On distingue trois modes de prise en charge, qui ne sont pas présents dans tous les établissements : l'hospitalisation complète pour une intervention de chirurgie réglée, la prise en charge en ambulatoire et la prise en charge de la chirurgie d'urgence. Ces modes de prise en charge déterminent les circuits du patient dans l'hôpital mais aussi le processus de programmation de l'intervention (planification de l'activité). Les ressources utilisées pour les activités de chaque mode de prise en charge peuvent se trouver dans différentes configurations architecturales, intégrées ou indépendantes.

Chirurgie réglée en hospitalisation complète

Il s'agit de la chirurgie pour laquelle le patient est accueilli en unité de soins et dispose d'un lit d'hospitalisation. La pratique réglée est par définition prévue plusieurs jours avant l'intervention. Lorsqu'une intervention pour le patient est jugée nécessaire par le chirurgien et qu'elle est autorisée par le médecin anesthésiste, elle fait l'objet d'une demande d'inscription au programme opératoire et d'une demande de lit de la part du secrétariat du service de chirurgie qui traite le patient. Cette étape de programmation opératoire fait partie des activités préopératoires que l'on peut qualifier d'activités décisionnelles. La décision d'inscrire un patient au programme opératoire, résultant des consultations chirurgicale et anesthésique, représente une sorte de contrat entre le chirurgien et le bloc opératoire qui s'engage à ce que les bonnes ressources humaines et matérielles soient disponibles au bon moment et au bon endroit pour que l'intervention ait lieu.

Le programme prévisionnel est validé chaque semaine pour la semaine suivante, lors d'une réunion rassemblant (si possible au complet) un certain nombre de personnels du bloc opératoire tels que : le cadre de santé IBODE², le cadre de santé IADE³, un référent médical anesthésiste, et un ou plusieurs référents médicaux chirurgiens. La composition de ce comité ou colloque varie d'un établissement à l'autre, selon sa structure juridique mais aussi ses missions (soins, enseignement, recherche). Dans tous les cas, un groupe de personnes se réunit pour évaluer l'activité prévue (surcharge ou sous charge des créneaux opératoires) et valider le programme.

Plusieurs stratégies existent au niveau de l'inscription au programme opératoire. En général directement à la suite de la consultation chirurgicale du patient en présence de celui-ci, la secrétaire du service de chirurgie, en suivant les instructions du chirurgien et en relation avec le bloc opératoire, réserve un créneau opératoire et communique ainsi au patient la date de son intervention. On peut alors décider que cette date d'intervention ne sera jamais remise en cause au cours des différentes étapes de programmation, ou bien s'autoriser à modifier cette

²Infirmier de Bloc Opératoire Diplômé d'État.

³Infirmier Anesthésiste Diplômé d'État.

date (ainsi que la date d'hospitalisation) pour satisfaire des contraintes survenues a posteriori. Dans ce cas, la mise en place d'un service de gestion de la clientèle s'impose, afin de prévenir le patient des modifications concernant la programmation de son intervention. Une autre façon de procéder consiste à enregistrer les disponibilités du patient et à lui communiquer plus tard la date de son hospitalisation, une fois que l'on se sera assuré de la faisabilité des plannings. On retrouve ici la classification des stratégies proposée par Dexter et O'Neill (2001) (« *fixed hours* », « *any workday* » et « *reasonable time* ») que nous détaillons plus loin dans cette section, de même que les différents modes de programmation envisageables : la programmation ouverte (inscription au programme centralisée soit périodiquement soit au fil de l'eau), la programmation par allocation de plages horaires (programmation décentralisée suivant un patron de répartition des plages), programmation par allocation de plages horaires avec processus d'ajustement (plages ajustables en fonction du taux de remplissage).

Que l'établissement ait ou non une mission d'accueil des urgences, le plateau médico-technique fonctionne dans un environnement sujet à de nombreuses perturbations. En addition des interventions programmées, certaines interventions considérées comme « imprévues » doivent être rapidement insérées dans le planning opératoire par le responsable du bloc. Un autre type d'aléas, que l'on retrouve également dans la pratique ambulatoire, est l'annulation ou le report d'une intervention dus soit à la dégradation de l'état du patient, soit à l'indisponibilité d'un ou plusieurs acteurs. L'incertitude peut enfin provenir de la durée même des activités, qui est sujette à des variations non négligeables dépendant de paramètres tels que l'âge du patient, son état physique, la technique de l'intervention, etc. L'arrivée d'une perturbation, quelle que soit son origine, exige le plus souvent que le programme opératoire soit réajusté.

Chirurgie ambulatoire

Selon la définition donnée par l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé (ANAES, 1998), la chirurgie ambulatoire recouvre « l'ensemble des actes chirurgicaux ou d'exploration, programmés et réalisés dans les conditions techniques nécessitant impérativement la sécurité d'un bloc opératoire, sous une anesthésie de mode variable et suivie d'une surveillance post-opératoire en salle de réveil, permettant sans risque majoré la sortie du patient le jour même de son admission ». La chirurgie ambulatoire est un concept autant qu'une pratique : elle implique une réflexion organisationnelle, thérapeutique et architecturale centrée sur la prise en charge du patient. Il s'agit d'une alternative à l'hospitalisation qui renouvelle en profondeur la chirurgie classique et dont plusieurs facteurs ont contribué au développement (Dubois-Lepand, 2001) dont :

- Les incitatifs médicaux tels que les progrès réalisés en matière d'anesthésie et les avancées pharmacologiques, permettant une réduction de la durée des phases pré et post-opératoires tout en assurant un environnement de sécurité,
- Le développement de nouvelles technologies médicales et chirurgicales avec l'essor de la chirurgie vidéo-assistée (miniaturisation, fibres optiques, laser, ultrasons, matériaux synthétiques),
- L'intérêt économique que ce type de prise en charge représente pour les pouvoirs publics en général et pour l'Assurance Maladie en particulier.

La chirurgie ambulatoire connaît un développement encore limité (30% de l'ensemble des actes chirurgicaux) et inégal en France, contrairement aux pays tels que le Canada, les États-Unis ou la Grande-Bretagne. Il existe actuellement un déséquilibre d'activité entre le secteur

public et le secteur privé, puisque sur l'ensemble des actes chirurgicaux ambulatoires, 87% sont réalisés dans le secteur privé contre seulement 13% dans le secteur public. Une enquête nationale menée par l'assurance maladie (Bontemps, 2003) sur le potentiel de développement de la chirurgie ambulatoire met en exergue les gains potentiels issus de cette pratique en substitution à la chirurgie classique.

Au niveau du plateau médico-technique, l'activité de chirurgie ambulatoire se différencie essentiellement de la pratique réglée par un nombre plus élevé de patients traités par jour et par un horizon de programmation prévisionnelle plus court. Les interventions réalisées en ambulatoire sont généralement de courte durée, ce qui permet de traiter un plus grand nombre de patients dans une même salle au cours de la journée. La structure d'accueil des patients en ambulatoire, par sa situation géographique à proximité du bloc opératoire, doit permettre de minimiser les temps de brancardage et d'attente des patients au bloc opératoire, et de fluidifier l'enchaînement du programme.

Une contrainte additionnelle à prendre en compte, par rapport à la chirurgie classique, est l'absolue nécessité d'empêcher tout report d'intervention le jour même de l'opération. En effet, on ne peut pas renvoyer un patient chez lui après l'avoir fait jeûner toute la journée et lui demander de revenir le lendemain. Pour cette raison, la programmation prévisionnelle en chirurgie ambulatoire doit être élaborée de manière très rigoureuse, au plus près de l'activité réelle, en autorisant toutefois une flexibilité pour pallier ces aléas (patient arrivant en retard ou qui ne se présente pas, complications post-opératoires, etc.).

Par son activité, la chirurgie ambulatoire suppose une coordination étroite entre tous les acteurs : l'administration, les médecins et le personnel soignant afin d'assurer une programmation rigoureuse des interventions, de permettre un enchaînement fluide du programme opératoire et de prévoir l'éventualité de complications.

Chirurgie d'urgence

L'accueil et le traitement des urgences est une des fonctions des centres hospitaliers, publics ou privés ; il concerne l'accueil des malades et de blessés se présentant spontanément ou amenés par des ambulances ou véhicules de prompt-secours des sapeurs-pompiers. Le rôle d'un service d'urgences est d'accueillir sans sélection 24 heures sur 24, tous les jours de l'année, toute personne se présentant en situation d'urgence, y compris psychiatrique, et la prendre en charge, notamment en cas de détresse et d'urgence vitales. On distingue en France deux types de services d'urgence les services spécialisés (SAU), et les unités de proximité (UPATOU). Les UPATOU et les SAU sont similaires en terme de compétences requises, personnel, matériel, etc., mais se différencient par les moyens en aval.

- Les services et pôles spécialisés d'accueil et de traitement des urgences (SAU) peuvent être présents uniquement dans un établissement (public ou privé) qui peut déjà traiter les affections probables en hospitalisation classique : unités de réanimation, médecine générale ou médecine interne, médecine à orientation cardio-vasculaire, médecine pédiatrique, anesthésie réanimation, chirurgie orthopédique et chirurgie viscérale, y compris gynécologique. L'établissement hospitalier doit nécessairement être doté de deux salles d'opération (et d'une salle de réveil) avec du personnel de garde permettant d'opérer tous les jours à toute heure, et de services pouvant pratiquer des examens tous les jours à toute heure (imagerie médicale, hématologie, biochimie, etc.).
- Les unités de proximité d'accueil, de traitement et d'orientation des urgences (UPATOU), sont des structures plus légères que les SAU. Si elles ne peuvent pas traiter tous

les cas, elles permettent d'avoir un bon maillage du territoire et une réponse rapide aux urgences les plus courantes. L'unité de proximité doit traiter elle-même dans ses locaux et avec ses moyens tous les jours de l'année, vingt-quatre heures sur vingt-quatre, les patients dont l'état nécessite des soins courants de médecine générale ou de psychiatrie ou des actes chirurgicaux simples, qui ne nécessitent pas une anesthésie générale ou une anesthésie locale délicate. L'unité dispose d'installations et d'équipes de base, et peut aiguiller vers un SAU les cas les plus aigus qu'elle ne peut traiter. L'établissement doit être doté au moins d'un service de médecine assurant l'hospitalisation complète et de services pouvant pratiquer des examens d'imagerie courants (radiologie, échographie) et des examens biologiques courants.

Dans le paysage hospitalier français, seuls les établissements SAU ou UPATOU ont une mission d'accueil des urgences. Concernant le processus de prise en charge des urgences chirurgicales, nous allons nous focaliser par la suite uniquement sur les établissements SAU, qui accueillent la majorité des urgences chirurgicales nécessitant les équipements d'un plateau médico-technique.

La particularité des interventions venant du service des urgences est qu'elles sont planifiables à très court terme. On peut classer les interventions d'urgences par leur horizon de planification, qui va de l'instant à quelques jours. Selon la pathologie et la gravité de l'état du patient, les interventions peuvent être à réaliser (Dexter et O'Neill, 2001) :

- Dans l'instant (J-T) : ils s'agit des cas les plus urgents (urgences vitales ou *emergent case*) pour lesquels une attente avant d'intervenir n'est pas permise. L'insertion du cas dans le programme doit être immédiate, et ceci peut provoquer la remise en cause du programme opératoire.
- Dans la journée (J-0) : il s'agit des cas urgents qui doivent être opérés le jour de leur arrivée (*urgent case*), et qui sont généralement placés en fin de programme (première salle libre) et ne causent pas de modifications dans le programme établi.
- Le lendemain (J+1) : il s'agit des cas urgents qui peuvent supporter d'attendre une journée avant de subir l'intervention (*elective case*). Celle-ci est insérée dans le programme opératoire du lendemain, et peut amener à reporter d'autres interventions programmées.
- Dans N jours au maximum : cas similaire au précédent, les patients peuvent attendre au maximum quelques jours avant d'être opérés, ce qui permet aux gestionnaires de bloc d'insérer l'intervention dans le programme opératoire en évitant de modifier les dates des interventions déjà programmées. L'intervention passe du statut d'urgence à celui de programmé.

Bilan sur les modes de prise en charge

Pour chaque mode de prise en charge cité dans ce paragraphe, différentes configurations architecturales peuvent être choisies allant de l'intégration à l'indépendance. C'est ce que nous verrons dans la description du facteur « Configuration architecturale et dispersion géographique de l'activité ». D'autre part, ces modes de prise en charge induisent des problématiques différentes (Besombes *et al.*, 2004) :

- La pratique réglée (ou prévisible) incluant l'hospitalisation pose des problèmes de pilotage de type planification.
- La prise en charge dans le cadre ambulatoire est une gestion de flux des patients sans

hospitalisation ou en flux tendu. Le pilotage nécessite une prise en compte des dates d'échéance pour la sortie des patients de type planification et ordonnancement.

- La capacité à accepter les perturbations liées à la pratique de l'urgence engage le pronostic vital et/ou fonctionnel du patient. La performance du pilotage se situe alors dans la réactivité, et l'ordonnancement temps réel de l'activité.

Diversification des spécialités

Par leur histoire, leurs personnels, leurs infrastructures et leur clientèle, les établissements de santé ont été amenés à se spécialiser dans certaines disciplines, spécialités, ou soins. On peut voir la diversification des spécialités sous différents aspects (Balsan, 2004) : la diversification de l'activité, qui est représentée par le nombre de GHS (Groupe Homogènes de Séjours) différents pris en charge par l'établissement, et l'orientation de l'activité, qui est appréhendée par la répartition de l'activité selon les trois grandes disciplines médecine, chirurgie, obstétrique.

Chirurgie	
Chirurgie générale	Chirurgie vasculaire
Chirurgie infantile	Chirurgie viscérale
Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie	Gynécologie
Chirurgie orthopédique et traumatologie	Neurochirurgie
Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique	Ophtalmologie
Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire	Oto-rhino-laryngologie
Chirurgie urologique	Stomatologie
Médecine	
Anesthésie réanimation chirurgicale	Pneumologie
Radiodiagnostic et Imagerie médicale	Radiothérapie
Gastro-entérologie et hépatologie	Pathologie cardio-vasculaire
Obstétrique	
Chirurgie obstétricale	

TAB. 1.1 – Liste des spécialités chirurgicales, médicales et obstétricales du PMT

A l'issue d'un examen de la liste des spécialités fournie par le Conseil de l'Ordre des Médecins, nous avons validé différentes spécialités médicales et chirurgicales exercées au sein du plateau médico-technique, listées dans le tableau 1.1. Ce tableau fait apparaître les spécialités de chirurgie, d'obstétrique mais aussi de médecine comportant des actes réalisés dans le périmètre du PMT défini plus haut (en général comportant une anesthésie).

La variété des spécialités de chaque établissement est définie par le projet d'établissement, qui doit s'inscrire dans le document de cadrage des grands axes de la recomposition hospitalière dans une région (i.e. le SROS). Il fixe les grandes orientations stratégiques de l'évolution de l'offre de soins, en fonction de l'évaluation régionale et territoriale des besoins de santé. Le panel des spécialités de l'établissement définit en outre les compétences des personnels, qui doivent être en adéquation avec la stratégie de l'établissement.

Taille de l'établissement

Il existe différentes manières de mesurer la taille d'un établissement. Classiquement l'établissement est caractérisé par un nombre de lits (tout type de soins confondu), qui définit sa capacité d'accueil des malades. Le nombre de lits multiplié par le nombre de jours dans une année donne le nombre de jour de séjours annuels potentiels pour l'établissement. Une autre donnée peut caractériser de manière quantitative un établissement de santé : il s'agit de son volume d'activité en nombre de séjours, directement issu du PMSI. Le nombre de séjours est très corrélé au nombre de lits, mais son intérêt réside dans le fait qu'il retrace l'activité effective des établissements, le nombre de lits s'apparentant davantage au potentiel d'activité. Le nombre de séjours devra être mis en corrélation avec la durée moyenne de séjour afin de refléter plus justement l'activité d'un établissement. En moyenne, les cas traités par les établissements publics sont plus lourds et engendrent des séjours plus longs que ceux traités par les établissements privés. La durée des séjours a un impact sur l'occupation des lits des unités d'hospitalisation, mais également sur les créneaux horaires du plateau médico-technique.

La taille de l'établissement, que l'on essaiera de mesurer en nombre de séjours, joue un rôle évident dans la partie de l'hôpital qui nous intéresse, à savoir le plateau médico-technique. La taille de l'établissement oriente les choix de mutualisation des structures. En effet, un hôpital de grande taille regroupant son activité sur un seul site comprenant plus de 20 salles, devra probablement faire le choix de sectoriser le plateau de manière à faciliter la gestion des flux de patients et la gestion des interventions. D'un autre côté, un établissement de taille plus réduite, ayant un plus petit nombre de séjours, aura plutôt intérêt à adopter une gestion centralisée unique afin d'optimiser l'utilisation des ressources et de coordonner les activités.

Configuration architecturale

La configuration architecturale du PMT détermine la dispersion des activités, qui peut se mesurer en nombre de sites d'anesthésie que possède l'établissement. Nous avons identifié plusieurs types de configuration architecturales, qui dépendent du niveau d'intégration de chaque mode de prise en charge et de chaque spécialité.

L'**activité réglée** du bloc opératoire concerne les interventions des différentes spécialités de chirurgie (ORL, ophtalmologie, viscérale, etc.), d'obstétrique, d'endoscopie et de radiologie interventionnelle, dont la durée de séjour excède la journée. Les ressources nécessaires à la réalisation des activités de la pratique réglée peuvent être réparties de différentes manières du point de vue géographique (monosite et multisite). On entend par site anesthésique ou site opératoire, tout lieu géographiquement et fonctionnellement individualisé, regroupant une ou plusieurs salles où sont pratiqués des actes sous anesthésie, c'est-à-dire réclamant l'intervention de personnel spécialisé (médecin anesthésiste, infirmière anesthésiste, etc.) (Baubeau et Thomson, 2002). De structures pavillonnaires dans lesquelles les ressources sont spécialisées (blocs opératoires de spécialité indépendants), la tendance va vers le regroupement des activités de chirurgie réglée sur un nombre inférieur de sites. Conséquence architecturale d'un choix organisationnel, au sein d'un même site opératoire, les ressources peuvent soit être regroupées sur des secteurs de spécialité (ou d'organe), soit constituer un ensemble de salles pluridisciplinaires non scindé en secteurs. On peut alors trouver différentes configurations du plateau médico-technique :

1. **Plateau pluridisciplinaire unique** (monosite) : toutes les spécialités sont regroupées dans un plateau pluridisciplinaire formant un seul site, et se partagent un ensemble de

ressources qui peut aller de la salle de réveil, aux salles d'opération et au personnel.

2. **Plateau pluridisciplinaire et secteurs de spécialité** (monosite) : toute l'activité de chirurgie et d'anesthésie est regroupée sur un même site opératoire, à l'intérieur duquel apparaissent des secteurs correspondant à chaque spécialité, séparés par des allées permettant de fluidifier la circulation.
3. **Plateau pluridisciplinaire et blocs de spécialité** (multisite) : certaines spécialités sont regroupées sur un site tout en se partageant des ressources, d'autres conservent leur indépendance.
4. **Blocs de spécialité** (multisite) : chaque spécialité fonctionne de manière autonome et indépendante, avec ses ressources propres et sa gestion propre.

La tendance est d'abandonner la configuration 4 pour adopter un plateau pluridisciplinaire (configurations 1, 2 et 3) autorisant davantage de partage des ressources.

Les **structures ambulatoires** doivent être aisément identifiables par leurs usagers. Elles peuvent être organisées en une ou plusieurs unités de soins individualisées, disposant de moyens en propre et bénéficiant pendant leur fonctionnement de l'exclusivité sur les locaux qui leur sont affectés. Les structures doivent présenter une unité de lieu en assurant sur un même site hospitalier l'ensemble de la prestation fournie. Une dérogation est cependant acceptée pour le secteur opératoire, à savoir les salles d'opération et la salle de réveil, sous réserve de respecter les horaires d'ouverture (pas plus de 12 heures de temps) et l'unité d'action (pas d'autres activités dans les locaux affectés). L'individualisation des structures ambulatoires permet de séparer l'activité ambulatoire du reste de la chirurgie et de la préserver des aléas dus à l'arrivée de patients des urgences. La chirurgie ambulatoire impose par la spécificité de son activité une individualisation des structures. Il existe une typologie des structures de chirurgie ambulatoire (Massip, 2001), distinguées selon la nature de leur activité et les modalités de leur organisation :

1. **Les centres indépendants.** Détachés des établissements de soins, ils ont un fonctionnement autonome. Ils sont en général le fruit d'initiatives privées, et il en existe peu.
2. **Les centres satellites.** C'est dans cette configuration que l'on trouve la majorité des centres ambulatoires, notamment dans le privé. Situés dans une enceinte hospitalière, ils ont un fonctionnement indépendant et une activité généraliste pluridisciplinaire recouvrant l'ensemble des spécialités allant parfois de l'endoscopie digestive à la chirurgie ophtalmologique. De par leurs caractéristiques, ces structures permettent de répondre au mieux à la spécificité du mode de prise en charge en ambulatoire.
3. **Les centres intégrés.** Également localisés dans une structure hospitalière, ils constituent plutôt un secteur d'activité : la chirurgie ambulatoire est intégrée à la chirurgie classique. En général, les salles d'opération sont communes aux deux types d'activité ambulatoire et traditionnelle. Ces centres se retrouvent dans le secteur public, pour lequel d'expérience, il est tout particulièrement difficile de rassembler les moyens spécifiques (locaux d'accueil, secrétariat, personnel exclusif, salles d'opération) à allouer à cette activité.

Dans les établissements prenant en charge la **chirurgie d'urgence**, une part importante des activités du plateau technique est considérée comme de l'urgence (environ 20%). Le plateau médico-technique se doit d'être équipé en ressources humaines et matérielles suffisantes pour accueillir et traiter les urgences se présentant, il doit en outre être doté d'une organisation rigoureuse permettant de réagir rapidement à l'arrivée d'un cas urgent. La chirurgie d'urgence est une activité par essence aléatoire et non prévisible, par conséquent non programmable.

Au niveau du plateau médico-technique on peut trouver différentes configurations pour la réalisation des interventions d'urgence :

1. **Bloc opératoire dédié aux urgences.** Ce type de structure se retrouve dans les établissements SAU de grande taille. Le bloc d'urgence est séparé du reste du plateau médico-technique et il est consacré uniquement à la prise en charge des urgences chirurgicales. Des équipes médicales et soignantes complètes sont affectées à cette structure. Les ressources humaines et matérielles ne sont pas mutualisées. En priorité ce bloc accueille les urgences vitales. Les urgences autorisant un temps de réponse un peu plus long sont parfois transmises au bloc opératoire de chirurgie réglée, et donc réalisées dans des salles mixtes chirurgie réglée/d'urgence.
2. **Salles d'urgences intégrées au plateau médico-technique.** Dans cette configuration, on rencontre souvent deux à trois salles d'urgences intégrées au plateau médico-technique, dont une dédiée à la prise en charge des urgences obstétricales. Chaque jour des ressources humaines (infirmières et médecins anesthésistes) et matérielles (salles d'opération) sont maintenues disponibles pour l'accueil des urgences. Certaines ressources comme les brancardiers, les aides soignants, la salle de réveil, les tables d'opération, les instruments lourds, sont mutualisées. En cas de retard pris dans le programme opératoire au cours de la journée, cette structure permet d'utiliser les ressources réservées pour les urgences ou bien, en cas de disponibilité de créneaux horaires, d'orienter les urgences dans des salles mieux équipées pour l'intervention en question, et d'autoriser ainsi une certaine flexibilité dans la réalisation du programme.
3. **Salles mixtes chirurgie réglée/d'urgence.** Dimensionné conformément à l'activité de chirurgie, le plateau médico-technique (mono ou multi site) ne possède pas de salles d'opération d'urgence. Les cas chirurgicaux transmis depuis le service d'accueil des urgences sont insérés dans le programme opératoire, et impliquent un réordonnancement des interventions en fonction des priorités.

Ainsi pour chaque mode de prise en charge et pour chaque spécialité, se pose la question de l'intégration au sein du PMT regroupé. La figure 1.5 reprend les conclusions des paragraphes précédents concernant les configurations architecturales envisageables pour les différents modes de prise en charge (sur les colonnes) et les différents groupes de spécialité (sur les lignes), qui se résument en l'intégration ou la non intégration au PMT regroupé.

La matrice de la figure 1.5 nous donne une vue d'ensemble de la diversité des activités du bloc opératoire et des différents choix architecturaux qui peuvent être faits. Les choix architecturaux, qui sont généralement décidés bien avant le début des travaux de reconstruction sont difficilement remis en cause par la suite. Ce choix stratégique de la disposition des infrastructures permet de caractériser la variété des PMT, bien qu'il constitue en lui-même une problématique liée au regroupement de l'activité. En effet les choix des infrastructures dépendent en premier lieu grandement de l'importance et de la spécialisation de l'activité considérée. Un établissement possédant une maternité avec un grand nombre d'accouchements, spécialisé dans le traitement des grossesses pathologiques, associé à une unité de néonatalogie, aura tendance à privilégier une structure dans laquelle le bloc d'obstétrique est séparé du reste du PMT. A l'inverse, un établissement de plus petite taille, ayant peu de personnel anesthésique pour assurer la surveillance de deux salles de réveil distantes, s'orientera vers l'intégration de l'activité obstétricales au PMT, situé à proximité des salles d'accouchements. Il en sera vraisemblablement de même si l'on observe l'importance des autres types d'activités et modes de prise en charge. Chaque établissement devrait donc pouvoir identifier sa position à chaque intersection du tableau, qui constitue une grille de caractérisation du plateau médico-technique du point de vue architectural.

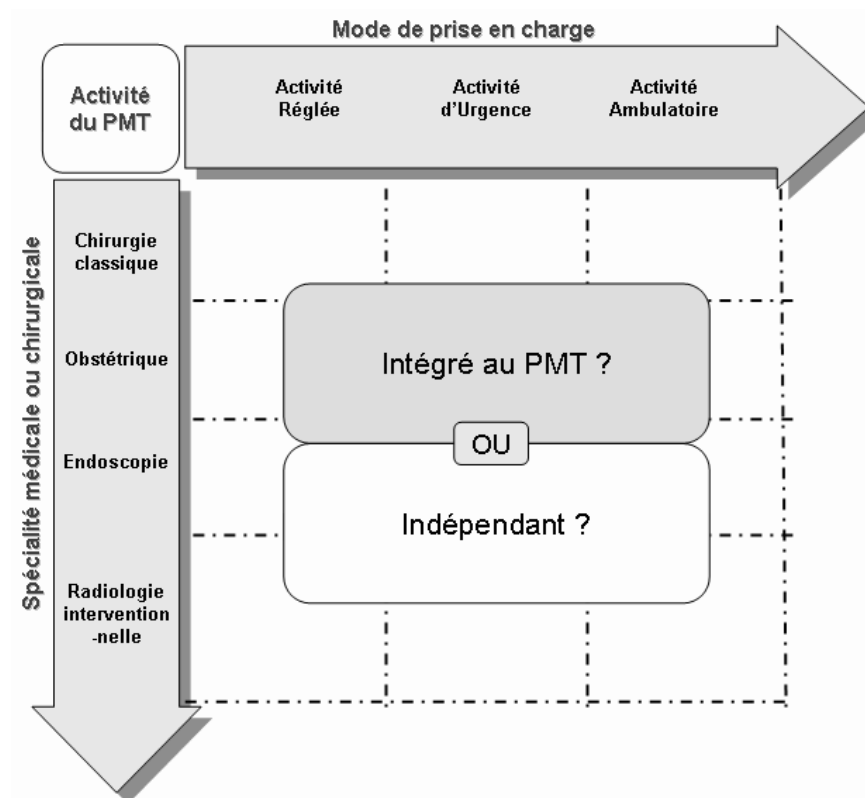


FIG. 1.5 – Les différentes configurations PMT

1.2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le contexte politique et social actuel, qui incite les établissements de santé à s'engager dans des projets de restructurations, impliquant souvent un regroupement de ressources. Dans le secteur chirurgical, qui concentre une part forte du budget de l'hôpital, ces transformations se matérialisent par la création de plateau médico-technique, blocs opératoires pluridisciplinaires de grande taille accueillant les activités de plusieurs spécialités et plusieurs modes de prise en charge. Dans le paysage hospitalier, une grande diversité de type de PMT est à noter. Nous nous sommes attachés dans ce chapitre à caractériser les facteurs entrant en jeu dans les choix architecturaux et d'organisation des PMT. Toutes les configurations qui impliquent un rapprochement de spécialités, une mise en commun de ressources ainsi que la construction de nouveaux bâtiments sont confrontées à un certain nombre de problématiques, que nous nous attachons à décrire dans le chapitre suivant.

Chapitre 2

Problématiques soulevées par le regroupement de PMT

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux problématiques soulevées par le regroupement des activités de chirurgie et d'anesthésie au sein du plateau médico-technique (PMT), qui se situent à deux niveaux. La première partie développe les problématiques liées à la réingénierie des architectures et des organisations, tandis que la seconde décrit celles relatives à l'exploitation et au pilotage des PMT. La troisième partie s'intéresse plus particulièrement aux questions de dimensionnement et de planification des ressources humaines mutualisées. Enfin une démarche méthodologique est proposée pour tâcher de répondre aux besoins des hospitaliers en termes d'aide à la décision.

D'après Marcon (2004), le regroupement des blocs opératoires dans un plateau médico-technique unique est l'occasion pour l'établissement d'analyser les pratiques de chacun, d'évaluer leurs performances et de trouver un consensus autour du mode d'organisation et de gestion de l'ensemble des ressources. Dans ce chapitre, nous abordons les différentes problématiques soulevées par le processus de regroupement de structures chirurgicales. Parmi les problématiques citées, certaines font l'objet d'études plus approfondies dans le chapitre 3. Les autres problématiques (Système d'information), dont l'analyse n'est pas poursuivie dans ce mémoire, sont tout de même évoquées. En effet, tous les questionnements soulevés et les chantiers mis en œuvre dans le processus de regroupement de PMT sont fortement corrélés et ne peuvent être traités de manière totalement indépendante. Pour accéder à des analyses plus précises des problématiques générales hospitalières, nous renvoyons le lecteur aux auteurs suivants : Kharraja (2003); Chaabane (2004); Jebali (2004); Hammami (2006).

Dans ce chapitre, les problématiques soulevées par le regroupement de PMT sont classées en deux grandes catégories : la réingénierie des architectures et des organisations (section 2.1) et le pilotage et l'exploitation (section 2.2). Dans chacune de ces catégories notre attention se focalise sur les aspects liés au dimensionnement et à la planification de ressources humaines. La troisième section (2.3) s'attache à présenter les particularités des problèmes de gestion des différents types de personnels du PMT. A partir de tous les questionnements soulevés, nous proposons dans la section 2.4 une méthodologie pour l'aide au dimensionnement et au pilotage des ressources du PMT, avec les ressources humaines pour angle d'attention.

2.1 Réingénierie des architectures et des organisations

Dans la phase de conception du PMT, il s'agit de concevoir l'architecture des nouvelles installations et de définir les organisations à mettre en place dans la nouvelle structure.

2.1.1 Choix architecturaux et dimensionnement des ressources

La construction d'un nouveau bloc opératoire, ou même l'extension d'une structure existante en vue de regrouper les activités de chirurgie et d'anesthésie sur un même site, nécessite de faire des choix architecturaux qui seront valables au cours des années à venir. Le coût et la perturbation qu'engendrent les travaux et le déménagement rendent plus que nécessaire une étude préalable approfondie pour le dimensionnement des infrastructures. Dans ce type de choix, des négociations basées uniquement sur le ressenti et sur le périmètre d'influence des individus ne peuvent suffir (Besombes *et al.*, 2004).

Comme nous l'avons évoqué dans la section précédente, différentes configurations architecturales sont envisageables pour le PMT. Pour chacun des modes de prise en charge ainsi que chaque spécialité, les infrastructures peuvent être soit éclatées soit intégrées, ce qui permet d'atteindre différents degrés de mutualisation des ressources.

Selon l'ouvrage « Le plateau technique à l'hôpital » (Broun, 2002), le dimensionnement actuel du plateau médico-technique, lors de sa construction ou de sa rénovation, s'appuie sur l'expérience des spécialistes. Si cette approche empirique à l'avantage de prendre en compte les considérations multiples de chaque spécialité, elle a aussi de nombreux inconvénients (Ladet et Lebrun, 2005) :

- L'expérience des spécialistes s'appuie sur des facteurs anciens, qui ne sont pas forcément ceux de l'hôpital de demain ;
- Chaque spécialiste essaie de faire prévaloir sa spécialité, ce qui donne lieu à des jeux de pouvoir et à des conflits non bénéfiques à un dimensionnement « optimal » ;
- Les perfectionnements techniques ou d'organisation ne peuvent être pris en compte par une telle méthode ;
- Le plein emploi des ressources n'est généralement pas la préoccupation des spécialistes.

Selon nous, ce dimensionnement basé sur des considérations personnelles, subjectives et non outillées, a besoin d'être objectivé par l'utilisation de techniques qui ont fait leurs preuves dans le monde de l'industrie, telles que : la modélisation des processus, la simulation de flux, la modélisation mathématique pour l'aide à la décision.

Au niveau des choix architecturaux du plateau médico-technique, plusieurs questions se posent :

- Quelles spécialités chirurgicales et quels modes de prise en charge feront l'objet du regroupement ? Quelles spécialités resteront indépendants avec accès à des ressources propres ?
- A l'intérieur du bloc opératoire regroupé et pluridisciplinaire, comment seront agencés :
 - les différentes salles liées au parcours du patient telles que les salles d'accueil, de transfert, d'induction, d'intervention et de réveil ;
 - les locaux liés aux activités logistiques tels que les sas de communication vers la stérilisation, les arsenaux de stockage des dispositifs médicaux, les salles de lavage des

instruments, etc.

Ces questions d'architecture sont couplées à des problématiques de dimensionnement des ressources matérielles du PMT. Il s'agit du dimensionnement :

- des locaux liés à la trajectoire du patient et aux activités logistiques,
- des équipements tels que les tables d'opération, les chariots de transfert, les postes de SSPI, les boîtes d'instruments stériles, etc.

Dans une perspective élargie, cela concerne également le dimensionnement des lits d'hospitalisation.

Le changement d'architecture nécessite de repenser les organisations qui les habitent, en impliquant les personnels dans la conception du fonctionnement futur de manière à ce qu'ils se l'approprient et le rendent efficace.

2.1.2 Choix des organisations et des règles de gestion

La refonte des organisations du plateau médico-technique nécessite un dialogue entre les différents acteurs, afin d'établir un fonctionnement cible de la nouvelle architecture qui satisfasse au mieux les exigences de chacun.

Polyvalence et mutualisation

Tant au niveau des salles d'intervention que des personnels, les aspects d'organisation sont liés au niveau de polyvalence et de mutualisation que l'on veut atteindre. En effet, ceci relève de la stratégie de l'établissement et doit être clairement formulé.

Il s'agit tout d'abord de définir ce que les deux termes polyvalence et mutualisation signifient. On entend par **polyvalence**, l'aptitude, pour le personnel d'un même service par exemple, à accomplir d'autres travaux que ceux qu'il doit normalement accomplir. Le Grand Dictionnaire Terminologique ¹ donne comme définition de la polyvalence du personnel, « la capacité d'un groupe d'employés d'occuper individuellement plusieurs postes distincts exigeant des qualifications différentes ». Par analogie aux ressources matérielles, la polyvalence des salles d'opération pourrait être définie comme, les dispositions nécessaires à la réalisation d'activités (interventions) de plusieurs spécialités. Le terme **mutualisation**, lui, semble être un terme nouveau qu'on ne trouve pas dans le dictionnaire. On peut tout de même définir la mutualisation des ressources comme la mise en commun, le partage et l'échange de ressources pour la réalisation d'activités communes. La notion de mutualisation ne se superpose pas à celle de polyvalence. La polyvalence présente une certaine forme de capacité à être mutualisé, alors que la mutualisation met l'accent sur la décision de partager des ressources. Pour éclairer cette notion, nous pouvons prendre l'exemple du brancardage qui peut être une activité mutualisée au sein d'un plateau médico-technique et qui ne demande pas de polyvalence en fonction de la spécialité. A contrario, la mutualisation des IADE d'un plateau médico-technique nécessite la constitution d'un pool d'IADE polyvalentes.

La question du niveau de mutualisation et du degré de polyvalence des ressources matérielles se pose dans le cas pour lequel le plateau médico-technique est composé d'un bloc

¹Le grand dictionnaire terminologique, de l'Office québécois de la langue française, regroupe 3 millions de termes français et anglais du vocabulaire industriel, scientifique et commercial, dans 200 domaines d'activité. <http://www.granddictionnaire.com/>

chirurgical pluridisciplinaire, avec certaines autres spécialités non chirurgicales (obstétrique, endoscopie, radiologie interventionnelle) intégrées au plateau. En effet, à partir du moment où l'on a choisi des infrastructures intégrées, centralisées et donc pluridisciplinaires autorisant le partage de ressources techniques, l'organisation des ressources matérielles n'est pas un problème à éluder. En revanche, même dans le cas d'infrastructures éclatées, la polyvalence et la mutualisation des ressources humaines peuvent apporter des améliorations. La mutualisation des ressources humaines soulève plusieurs questionnements nouveaux issus du partage des ressources. Plusieurs choix d'organisations sont possibles, portant sur la répartition des personnels entre les spécialités, les équipes, la définition des horaires mais aussi sur le choix d'organisation du travail (astreintes, gardes, heures supplémentaires, etc.). Elles seront détaillées dans la section 2.3.

Se pose également la question du niveau d'intégration et de mutualisation du système décisionnel et de la fonction de pilotage (Besombes *et al.*, 2004). Lorsqu'il s'agit du regroupement de structures de spécialité pavillonnaires, habituées à être gérées par un cadre de santé, faut-il conserver une gestion indépendante avec autant de cadres de santé que de spécialités regroupées? Ou bien adopter une organisation dans laquelle un cadre unique coordonne les activités de toutes les spécialités? Il semble que la seconde option permettent de planifier une utilisation des ressources qui soit plus globale, mais qui puisse devenir une entreprise impossible si la taille du PMT est trop importante. Une autre possibilité serait d'imaginer une organisation fonctionnelle avec un cadre de santé pour chaque fonction (programmation des interventions, planification de personnel, gestion de la logistique), qui couvre à chaque fois l'ensemble des spécialités.

Modes et stratégie de programmation

Les choix d'organisations tels que les horaires d'ouverture du PMT et l'allocation des plages opératoires allouées aux spécialités ou aux chirurgiens comportent à la fois un aspect dimensionnement et un aspect lié à la planification des interventions. Il existe plusieurs modes de programmation et stratégies associées (Marcon et Kharraja, 2003), qui induisent des problèmes à résoudre à différents niveaux de décision.

La programmation par salle ou *Open Scheduling* (OS) consiste à proposer pour chaque période de programmation un planning vierge de toute contrainte de placement où les chirurgiens de toutes les spécialités pourront placer leurs interventions chirurgicales. Le remplissage du programme peut alors se faire de manière :

- chronologique, suivant la règle du premier demandeur premier servi (FCFS). Simple à mettre en œuvre, cette organisation pose le problème de la sous-utilisation des ressources, de dépassements horaires importants, et favorise les services qui ont une activité planifiée à long terme.
- concertée, sous la direction du cadre de santé de bloc opératoire suivant un processus de négociation entre les différents acteurs (chirurgiens, anesthésistes, infirmiers). L'élément clef du processus de décision se situe lors du colloque de bloc, qui doit aboutir à une harmonisation des pré-plannings élaborés par chaque chirurgien ou service pour la période à venir. Technique souple et adaptable, elle comporte néanmoins l'inconvénient d'induire un temps long consacré à la recherche d'un ordonnancement admissible, surtout lorsqu'il s'agit d'un bloc comportant un grand nombre de salles.

L'adoption d'un mode de programmation par salle ne pose pas de problème d'élaboration d'un squelette de planning, mais reporte la difficulté sur l'ordonnancement des interventions.

Elle peut amener à une répartition déséquilibrée de la charge de travail dans la semaine, générant également un manque de lits d'hospitalisation.

La programmation par allocation de plages ou *Block Scheduling* (BS) consiste à imposer un squelette du programme opératoire pour la semaine (en tenant éventuellement compte des périodes particulières type vacances scolaires, etc.). Elle s'appuie sur l'allocation préalable de plages horaires aux chirurgiens sur l'horizon de la semaine. En suivant ce patron de répartition que l'on appelle aussi Plan Directeur d'Allocation de plages (PDA), les chirurgiens placeront à l'intérieur de ces plages, à leur convenance, leurs interventions. Plusieurs organisations peuvent être mises en place pour l'affectation des plages aux chirurgiens :

- Soit la plage allouée correspond à une salle pour un chirurgien pendant une période donnée. Le chirurgien travaille pendant le temps qu'il est au bloc opératoire sur une seule salle à la fois. Entre deux interventions, pendant le temps de remise en état de la salle (sortie du patient, réfection de salle), le chirurgien n'opère pas ; il a donc l'impression de perdre son temps.
- Soit la plage allouée correspond à deux salles pour un même chirurgien. Le chirurgien peut alors placer des interventions dans deux salles différentes, et profiter du temps de remise en état de la première salle pour intervenir sur un patient de la deuxième salle. Cette organisation permet d'optimiser le temps du chirurgien passé au bloc opératoire, et éventuellement d'allouer des plages plus courtes (demi-journée), à plusieurs chirurgiens pour une même salle (un chirurgien pour le créneau du matin, un pour le créneau de l'après-midi). Elle suppose par ailleurs un suréquipement en salles. Les problèmes posés se situent : (1) au niveau de la coordination des opérations des deux salles, cette organisation convenant principalement aux interventions comportant des gestes courts (turn-over élevé), et (2) au niveau du relais pris par le second chirurgien de la salle en cas de dépassement du premier chirurgien.

La qualité du programme résultant de ce mode de programmation est directement liée à la nature prévisionnelle de l'activité en quantité et répétitivité. Toute la difficulté réside dans l'élaboration d'un bon plan directeur d'allocation des plages opératoires (PDA) qui colle le mieux à l'activité des chirurgiens, et à faire respecter par ces mêmes chirurgiens, les plages qui leurs sont allouées (remplissage optimal, ni trop, ni trop peu). Le travail d'ajustement du cadre de santé de bloc opératoire se voit alors simplifié, puisqu'il n'a plus qu'à vérifier la faisabilité du planning opératoire. Les chirurgiens sont responsables du remplissage de leurs plages horaires et doivent respecter les durées d'interventions prévues, au risque de voir s'écrouler les performances productives du bloc.

La programmation par allocation de plages et processus d'ajustement ou *Modified Block Scheduling* (MBS) applique les mêmes principes de base que la programmation par allocation de plages en permettant la création des plages banalisées, et la possibilité pour le responsable de bloc d'ajuster ou de banaliser des plages allouées. La mise en place d'une telle programmation nécessite que le remplissage des plages soit connu suffisamment à l'avance pour que les plages disponibles puissent être redistribuées.

A ces modèles de programmation opératoire, Dexter et O'Neill (2001) proposent d'associer différentes stratégies de programmation qui déclineront les objectifs stratégiques en terme de performance :

- **Durée fixée** (*fixed hours*) : cette stratégie est centrée sur l'utilisation des ressources. Elle impose une programmation qui n'occasionnera pas de dépassement des horaires

d'ouverture des salles opératoires, c'est-à-dire une sur-utilisation des plages horaires. La conséquence de cette stratégie pour le patient est le report éventuel de l'intervention en cas de surcharge du planning.

- **N'importe quel jour** (*any workday*) : cette stratégie est centrée sur la satisfaction du patient et du chirurgien. Elle permet au chirurgien et au patient de choisir le jour de l'intervention. La conséquence pour les acteurs est une flexibilité des horaires afin de pallier les différences de charge.
- **Dans un délai raisonnable** (*reasonable time*) : cette stratégie est un compromis entre les deux précédentes. La date de l'intervention est choisie de façon à être la plus proche possible de celle proposée par le chirurgien et le patient sans toutefois provoquer de dépassement horaire.

Le choix d'une stratégie et d'un mode de programmation a un fort impact sur la vie du PMT. Dans la littérature on trouve également quelques conseils. Marty (2003) est d'avis que les trois modes de programmation sont envisageables, la fréquence d'utilisation de ces techniques dépendant du type de structure et du nombre de patients (volume traité). Selon Marcon et Kharraja (2003), la technique de programmation ouverte n'est recommandée que pour des blocs de petite dimension. Les blocs ayant un nombre important d'interventions annuelles, de spécialités nombreuses et variées devraient adopter le mode de programmation par allocation de plages horaires. Le regroupement des activités d'anesthésie et de chirurgie sur un même site donne la plupart du temps lieu à la création de blocs de grande taille pluridisciplinaires assumant un nombre important d'interventions. Dans ces cas-là, il semble que le mode de programmation le plus adapté soit la programmation par allocation de plages horaires, sachant que le processus d'ajustement se fait aussi bien dans le cas du BS que du MBS, bien qu'il soit plus clairement défini (et donc mieux mis en œuvre) pour le MBS. Dans tous les cas, la stratégie de programmation, qui maximise la satisfaction du patient et du chirurgien et qui semble la plus appropriée est la stratégie « dans un délai raisonnable ». Le choix de la stratégie et du mode de programmation vont impacter la planification des interventions, que nous avons située dans les problématiques d'exploitation et de pilotage.

Définition des tâches des personnels et dimensionnement

Comme nous l'avons évoqué un peu plus haut, le rapprochement des ressources liées à la chirurgie (personnels, salles, équipements) pose la question du niveau de mutualisation et de polyvalence de chacune d'elles. Se rajoute à cela, la définition précise des tâches que chacun doit effectuer, ainsi que la spécification des profils de postes.

Pour l'élaboration du fonctionnement de la structure cible, il faut d'abord se questionner sur le fonctionnement existant de manière à comprendre les pratiques et à identifier le rôle de chacun. La modélisation d'entreprise peut apporter une aide au diagnostic d'une organisation existante de même qu'une aide à la conduite du changement vers de nouvelles organisations comme nous l'avons montré dans (Besombes *et al.*, 2004). La modélisation des structures existantes, le diagnostic de l'existant et la conception de l'organisation cible s'inscrivent dans une démarche d'analyse et de conception schématisée par la figure 2.1.

La modélisation d'entreprise propose de modéliser un système selon plusieurs vues (organisation, fonction, données, processus, etc.), qui varient d'une méthode à l'autre. Les vues qui permettent de définir les tâches et les rôles de chacun sont principalement la vue organisation, permettant de définir les différents acteurs impliqués dans le système et leurs relations hiérarchiques, ainsi que la vue processus, qui décrit l'enchaînement des tâches et met en relation

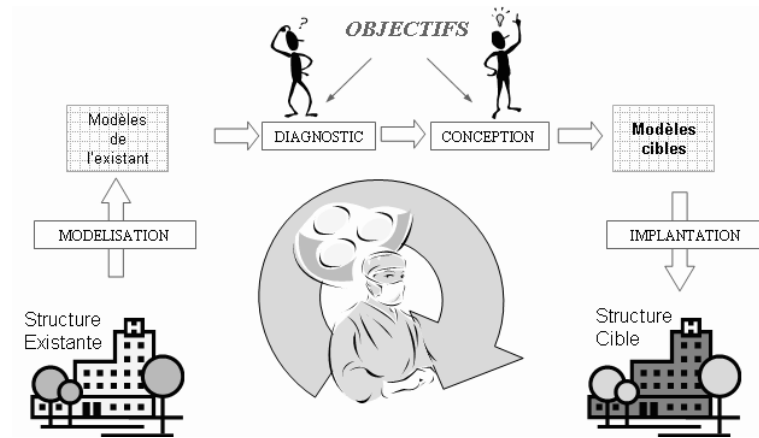


FIG. 2.1 – Démarche d'analyse et de conception à l'aide de la modélisation d'entreprise

les différentes ressources nécessaires à leur réalisation. Dans le chapitre 3, une section sera consacrée à la présentation des principaux concepts de la modélisation d'entreprise et des différentes méthodes de modélisation existantes.

La redistribution des tâches de chacun à l'aide de la modélisation de processus, permet de mettre en évidence les différentes organisations adoptées pour les activités sur lesquelles se posait la question de la mutualisation, telles que les tâches logistiques. Cette définition précise des rôles de chacun ainsi que la répartition des responsabilités selon les processus est un passage nécessaire pour le dimensionnement des ressources humaines requises au bloc opératoire pour satisfaire la demande de soins. Le dimensionnement du personnel possède deux composantes. Il s'agit de :

- déterminer le nombre de personnes requises (besoins) pour assurer l'ensemble des tâches, à chaque moment de la journée,
- définir les effectifs nécessaires pour couvrir les besoins, en tenant compte des contraintes d'horaires de travail et de réglementation.

Selon Standbridge (1999) le dimensionnement des ressources, notamment humaines, dans le domaine de la santé fait partie d'une des applications pertinentes de la simulation de flux, parmi d'autres utilisations telles que l'évaluation de la performance des modèles organisationnels.

2.1.3 Système d'information

Les systèmes d'informations hospitaliers sont en pleine mutation. Depuis le Programme de Médicalisation du Système d'Information (PMSI), imposé par les ordonnances de 1991, ayant pour objectif de collecter et d'enregistrer des informations relatives aux activités médicales, les établissements de santé ont dû se munir d'un certain nombre d'outils leur permettant de suivre leurs activités. Depuis janvier 2004 les établissements de santé sont soumis à la tarification à l'activité qui les pousse à mettre en place un système d'information qui fournisse les informations satisfaisant les exigences des nouvelles modalités de financement (FHF, 2004).

De nombreux travaux sont actuellement réalisés dans le cadre de l'analyse des besoins des utilisateurs en terme de système d'information (hospitalier, administratif, médical et clinique, etc.) (Romeyer *et al.*, 2004). Ils s'appuient sur une analyse des processus en se concentrant sur la vue du système d'information qui constitue l'une des vues des outils de modélisation

d'entreprise, afin de définir le cahier des charges du système d'information hospitalier (SIH). La modélisation des processus doit prendre en compte le système d'information informatique (gérant des données informatiques) ainsi que le système d'information documentaire (contenant des données sous forme de papier), et montrer les résultats des activités sur ces systèmes d'information. La modélisation des processus focalisée sur le parcours du patient place le patient au centre des préoccupations de conception du SIH (Romeyer *et al.*, 2004; Fontan *et al.*, 2004).

La mise en place d'un système d'information (SI) performant constitue également un pré-requis pour la planification et l'affectation des ressources. Un SI mis en place, adopté et correctement utilisé par les personnels est un outil fournissant les données de base (historique des interventions, durées opératoires, trajectoire du patient) indispensables à l'élaboration d'outils d'aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage des plateaux médico-techniques.

En effet, une étude pour le dimensionnement des infrastructures du bloc opératoire se base sur les données d'activité du bloc opératoire ainsi que sur les données relatives aux processus du patient. Ces données répondent aux interrogations suivantes :

- Les données d'activité : quel est le volume d'activité en termes de nombre d'interventions ? Comment se décline-t-il selon les modes de prise en charge et les spécialités ? Quelles sont les durées d'occupation des salles d'intervention et des postes de SSPI dans chaque cas ? Il est indispensable de connaître ces données, afin de répartir équitablement les ressources entre les modes de prise en charge et les spécialités suivant les besoins. Plus les données de départ seront représentatives, plus la décision résultante sera pertinente.
- Les données relatives au processus du patient : quels sont les temps d'occupation des ressources tout au long du processus de soins du patient au sein du PMT, pour la réalisation des différentes tâches : accueil, transfert, induction, brancardage, réveil, etc. ? De telles données peuvent être connues si des fichiers de suivi de temps de bloc opératoire sont renseignés avec rigueur.

Le SI permet d'accéder à des bases de données, qui une fois traitées et analysées afin d'aboutir à des lois de distribution, sont directement utilisables dans des modèles de simulation et des outils d'aide à la décision.

2.2 Exploitation et pilotage

2.2.1 Évaluation et amélioration de la performance

Depuis la mise en place de la procédure d'« accréditation » par l'ANAES en 1996, renommée procédure de « certification » en 2004 par la Haute Autorité de Santé (HAS), les établissements de santé ont été familiarisés avec l'approche qualité et avec les notions d'évaluation et d'amélioration de la performance. L'accréditation/certification vise à assurer la sécurité et la qualité des soins donnés au malade et à promouvoir une politique de développement continu de la qualité au sein des établissements de santé, en évaluant l'ensemble de son fonctionnement et de ses pratiques. Cette procédure inclue notamment une étape d'auto-évaluation par l'établissement suivie d'une étape de visite d'accréditation effectuée par une équipe d'experts visiteurs (figure 2.2).

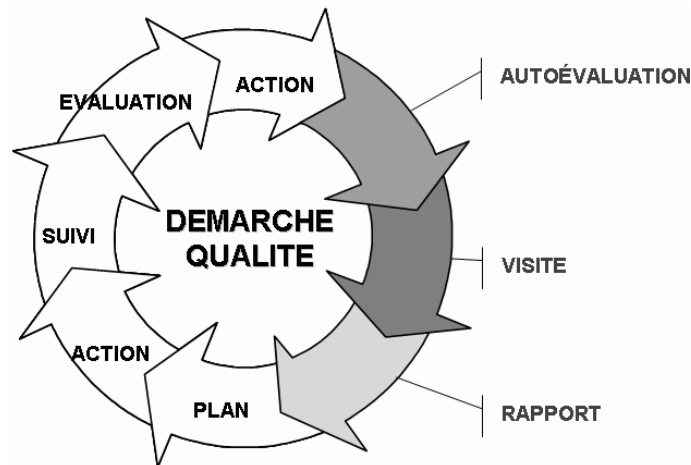


FIG. 2.2 – Accréditation/certification et démarche qualité (HAS, 2005)

Un récent ouvrage collectif rédigé en partie par des professionnels de santé de l'UNAI-BODE² (Acquier *et al.*, 2003), fournit un guide pour mener à bien l'étape d'auto-évaluation de la certification dans les blocs opératoires, en se basant sur la démarche d'analyse par processus. Ce guide permet d'évaluer les points forts et les points faibles de l'organisation, pour rentrer dans une démarche d'amélioration de la qualité et améliorer la performance globale du système.

Dans le contexte du regroupement de blocs opératoires, dans les phases de conception et pilotage, il est indispensable d'instaurer ce type de démarche, alliant dynamique du changement et culture de l'amélioration permanente en impliquant l'ensemble des acteurs du plateau médico-technique. L'analyse du fonctionnement par la modélisation des processus, l'implémentation d'un suivi d'activité ainsi que la tenue de tableaux de bords sont des outils indispensables pour évaluer l'efficacité de l'organisation mise en place et identifier les actions à entreprendre pour améliorer la performance. L'analyse systémique et la modélisation d'entreprise sont des outils utiles à la mise en œuvre d'une telle démarche.

2.2.2 Planification et affectation des ressources

Au niveau de la planification et de l'affectation des ressources on trouve différents problèmes.

La **planification des admissions** consiste à définir le modèle de charge du système de soins, c'est-à-dire à étudier la dynamique des mouvements des patients à travers les différentes zones d'activité de l'hôpital (Jebali *et al.*, 2003). Ce problème général permet entre autre d'estimer le nombre de patients et le besoin en ressources engendré au PMT, mais aussi dans les services de consultation, contraignant ainsi son organisation. D'après Jebali *et al.* (2003), la caractéristique la plus critique de ce problème est la prise en compte des aspects aléatoires et incertains survenant pendant la trajectoire de soins. Les travaux de la littérature qui ont abordé ce problème ont principalement utilisé la programmation mathématique ainsi que des modèles de simulation pour sa résolution.

La **planification des lits** consiste à établir un plan d'occupation des lits d'hospitalisation d'un service, dimensionné afin de satisfaire la demande annuelle de soins (Bechar et Guinet,

²Union Nationale des Associations d'Infirmiers(ères) de Bloc Opératoire Diplômés(ées) d'État

2006). Le problème est de répondre de la manière la plus satisfaisante possible à la demande de réservation d'un lit pour un patient devant être hospitalisé (pour un séjour en médecine ou en chirurgie). La planification des lits de chirurgie a un impact direct sur la programmation opératoire qui régit l'occupation des salles opératoires du PMT (Guinet et Chaabane, 2003).

La **planification des interventions** ou programmation opératoire, est un élément déterminant du bon fonctionnement du PMT. Elle comporte deux phases : (1) la phase de planification qui consiste à déterminer la date à laquelle le patient subit l'intervention et (2) la phase d'ordonnancement durant laquelle on détermine la salle dans laquelle les interventions du jour sont réalisées ainsi que leur ordre de passage. Ces deux phases successives aboutissent à l'élaboration d'un programme opératoire, qui correspond au planning d'utilisation des salles d'intervention. Selon le mode de programmation (programmation ouverte ou par allocation de plages horaires), plusieurs problèmes de planification et d'ordonnancement sont à considérer :

- **Cas de la programmation ouverte** : les décisions à prendre sont échelonnées à différents niveaux (Chaabane, 2004). Il s'agit de :
 - définir les plages d'ouverture des salles d'opération, compte tenu des interventions à réaliser (inscrites au programme) et des ressources humaines (infirmiers, aides soignants, etc.) disponibles.
 - planifier les interventions sur les différentes salles du bloc opératoire. Le planning doit permettre d'occuper de la manière la plus efficiente possible les ressources, afin d'éviter le recours aux heures supplémentaires et surtout le report d'interventions.
 - ordonnancer les interventions, en prenant en compte toutes les ressources (salles, lits de réveil, brancardiers) et en considérant les temps de processus de manière fine (temps opératoire, temps de réveil). Plusieurs approches de programmation peuvent être envisagées (Kharraja, 2003) : la programmation centrée sur les salles d'intervention ou la programmation centrée sur l'ensemble salle d'intervention-SSPI.
- **Cas de la programmation par plage** : Dans le cas de la programmation par allocation de plages horaires, avec ou sans processus d'ajustement (BS et MBS) :
 - la première étape de planification consiste à élaborer un plan directeur d'allocation de plages (PDA), patron de répartition des plages entre les chirurgiens ou groupes de chirurgiens. La construction de ce PDA repose soit sur l'expertise des acteurs du PMT, soit sur l'expérience d'un établissement de même pratique constituant un modèle de référence. Lorsque l'établissement possède un système d'information permettant d'accéder à un historique d'activité (nombre d'interventions et temps opératoires par chirurgien ou groupe de chirurgien), la construction du PDA peut s'appuyer sur l'analyse quantitative des données issues du SI.
 - la seconde étape consiste à remplir les plages opératoires en inscrivant des interventions au programme. Ce remplissage doit être coordonné à la planification des lits. Le problème d'ordonnancement des interventions n'est plus aussi primordial que dans le mode de programmation ouverte, car les interventions sont directement inscrites dans une des plages correspondant à une salle et à un chirurgien. Les autres ressources humaines nécessaires à la réalisation de l'intervention sont elles aussi affectées en amont de l'inscription. Cependant l'ordre dans lequel les interventions sont réalisées a tout de même un impact sur l'occupation de ressources communes telles que les équipements lourds mobiles (microscopes, colonnes vidéo, etc.), et les lits de réveil. L'ordonnancement et la validation du programme opératoire final est réalisé soit par le conseil de bloc soit par le cadre de santé du bloc opératoire (selon l'organisation des prises de décision), en général chaque semaine pour la semaine suivante.

Outre la planification prévisionnelle des interventions, des approches réactives sont très utiles pour assurer un bon fonctionnement du PMT. En effet, il n'est pas rare que des cas chirurgicaux imprévus surviennent, en provenance soit du service d'accueil des urgences, soit de l'intérieur même de l'hôpital (reprise en chirurgie). Il arrive même que sans motif d'urgence de l'état du patient mais pour d'autres raisons non énoncées, des interventions soient ajoutées au programme opératoire le matin même de la date souhaitée. Il faut alors les insérer au programme opératoire, tout en minimisant l'impact de cette insertion sur les cas déjà programmés.

La **planification des lits de soins intensifs** concerne les établissements possédant une unité de réanimation et de soins intensifs. Ces unités sont coûteuses compte tenu de la technicité des équipements qu'elles comprennent, et de la permanence des soins assurée par un nombre important de personnels médicaux et soignants. Selon (Kharraja, 2003), les problèmes de planification de lits de soins intensifs se rapprochent des problèmes liés à la gestion des lits et des problèmes traitant des admissions. La rareté des lits, la nature stochastique de la demande des patients, ainsi que la durée de séjour dans ce type d'unité rendent d'autant plus difficile la gestion de ces lits.

La **planification des flux matériels** est une problématique à aborder parallèlement à la planification du flux de patients, comme le propose Hammami dans sa thèse (Hammami, 2006) qui traite de la gestion et de la coordination de ces deux types de flux au sein du bloc opératoire. Les principaux flux matériels à gérer sont ceux nécessaires à la réalisation d'une intervention c'est-à-dire, les dispositifs médicaux (DM) à usage unique (compresses, champs, etc.), les DM réutilisables qui une fois souillés subissent le processus de stérilisation, les médicaments et les matériels spécifiques tels que les prothèses ou les ancillaires. Plusieurs types de décision se posent au niveau de la gestion des matériels : (1) au niveau stratégique, rentrant plutôt dans la phase de conception d'une nouvelle structure, il s'agit de décider de centraliser ou décentraliser l'unité de stérilisation par exemple, voire même de l'externaliser ; (2) au niveau tactique, il s'agit de déterminer à quel endroit seront stockés les dispositifs (en stérilisation ou dans des arsenaux du bloc opératoire), qui se chargera de leur gestion ainsi que la capacité du stock de DM réutilisables ; (3) au niveau opérationnel, il s'agit de définir les règles de réapprovisionnement, les méthodes de gestion de stocks et les processus de distribution des dispositifs et médicaments (par chariot dédié à une intervention, par chariot commun aux salles, etc.) (Hassan, 2006). Hammami (2006) présente deux approches proposées par Lapierre et Ruiz (2003) en les adaptant à l'approvisionnement du PMT : une approche cyclique basée sur un plan d'approvisionnement dans lequel un produit est approvisionné périodiquement, à intervalle multiple d'un intervalle de base ; une approche chaîne d'approvisionnement qui consiste à identifier les activités d'approvisionnement et à les planifier sur un horizon de planification adéquat.

2.2.3 Planification des personnels

La planification des personnels du bloc opératoire a lieu en amont de l'inscription des interventions au programme opératoire. Ainsi les ressources sont affectées avant que les cas chirurgicaux soient connus (Dexter, 2004). Dans le bloc opératoire, lieu stratégique d'un établissement de santé, travaillent des personnels médicaux et soignants hautement qualifiés. La gestion efficiente de ces personnels représente un défi majeur pour l'hôpital, en comptant que les coûts engendrés par les personnels représentent une part importante allant jusqu'à 70% du budget global. C'est sur les problématiques liées à la gestion des personnels du plateau médico-technique que nous portons notre attention dans la suite de ce chapitre.

Comme nous le verrons dans la section suivante les problèmes de planification de personnels soignants peuvent être très différents d'un établissement à l'autre, selon les organisations du travail et les règles de gestion adoptées. Selon le type de l'établissement et l'organisation choisie, nous verrons que certains problèmes se rapprochent plus ou moins du problème classique de construction de plannings des infirmiers d'unité de soins. Bien que les problèmes de construction de planning infirmiers aient émergé il y a plusieurs décennies, ils prennent aujourd'hui une nouvelle intensité sous la double stimulation (Weil *et al.*, 2003) :

1. des transformations de l'organisation du temps de travail, telles que l'annualisation, la mise en œuvre des 35 heures, le temps partiel et le développement de la polyvalence ;
2. de la sensibilité croissante du domaine avec une augmentation de la conformité au droit (respect de toutes les contraintes réglementaires) et de l'attention donnée à l'équité (répartition équilibrée de la charge entre les personnels).

Les problèmes de planification des personnels médicaux intervenant au bloc opératoire concernent les chirurgiens et les médecins anesthésistes, et prennent eux aussi une importance croissante avec la mise en place des règlements stricts sur le temps médical.

2.3 Problèmes de gestion de personnels du PMT

La littérature étant relativement étendue sur les problématiques de planification des interventions du PMT, il existe par ailleurs peu de travaux traitant du problème de planification des personnels dans les blocs opératoires. Cependant la littérature est assez abondante en ce qui concerne les problèmes de planification des infirmiers des unités de soins (que nous appellerons problèmes de plannings infirmiers « classiques »). Dans cette section nous analysons les enjeux de la planification des personnels soignants du PMT, en détaillant notamment les rôles des différentes catégories de soignants, puis nous précisons quelles sont les différents types d'organisation du travail possibles. Enfin nous présentons les problèmes de planification des personnels médicaux.

2.3.1 Les personnels soignants

La plupart des organisations sont confrontées à des problèmes de gestion des effectifs. Ces problèmes sont d'autant plus complexes à résoudre dans les situations suivantes (Chan, 2002) :

- *La charge de travail s'étend sur une durée supérieure à une journée de travail* : il faut donc prévoir plusieurs vacations avec des horaires successifs (voire se chevauchant) afin de couvrir la charge.
- *Les vacations à effectuer comprennent plus de 7 heures par jour* : travailler 5 jours par semaine revient donc à plus de 35 heures de travail. Des jours de repos compensateurs et des récupérations de temps de travail (RTT) sont alors nécessaires pour assurer une moyenne annuelle de 35 heures par semaine³.
- *La charge de travail s'étend sur plus de 5 jours par semaine* : le travail du week-end doit être réparti entre les personnels de manière équitable et des jours de repos doivent être accordés, tout en assurant la couverture de cette charge.

³Les compensations financières sont peu courantes à l'hôpital depuis la mise en place des 35 heures

Les problèmes de génération de plannings infirmiers rentrent dans cette classe de problèmes. Ils ont fait l'objet de nombreuses recherches au cours des dernières décennies. Cette classe de problème est communément désignée dans la littérature comme le « *Nurse Scheduling Problem* » (NSP).

Le problème de génération des plannings infirmiers n'est cependant pas générique et dépend d'un nombre important de paramètres propres à la situation rencontrée :

- ***l'hôpital*** : selon le statut de l'établissement (public, privé) et sa politique de gestion de ressources humaines, les plannings infirmiers doivent respecter un certain nombre de contraintes qui diffèrent (nombre d'heures de travail par semaine, nombre de jours de récupération, politique d'affectation des repos, etc.) ;
- ***le service*** : si le service fonctionne de 8 heures à 15 heures, 5 jours sur 7 (bloc opératoire sans activité d'urgences par exemple), et si les infirmiers sont tous à temps plein, alors le problème sera assez simple à résoudre (gestion des absences et des congés uniquement). Par contre pour un service assurant une permanence 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 (service des soins intensifs par exemple), il faudra à la fois définir les jours de travail des infirmiers mais aussi leurs horaires.
- ***la nature de l'activité*** : la nature des tâches réalisées par les infirmiers a un fort impact sur la quantification du besoins pour chaque vacation.

Reprenons la comparaison entre infirmier d'unité de soins et infirmier de bloc opératoire. Les tâches à effectuer dans les unités de soins étant nombreuses et morcelées dans le temps, les besoins en infirmiers sont évalués en fonction de la taille du service, du nombre de patients à soigner, et de leur gravité. Ces besoins sont parfois approximatifs et exprimés par un besoin minimum et un besoin maximum. Si le niveau minimum n'est pas assuré (ce qui n'est pas souhaitable mais peut arriver), alors la charge supplémentaire est absorbée par l'effectif en place ce qui limite les conséquences sur le travail réalisé (pas de reports).

Dans le cas des infirmiers de bloc opératoire, les besoins sont plus facilement quantifiables : une salle peut être ouverte si deux IBODE sont disponibles. Un sous-effectif n'est donc pas acceptable et conduirait à la fermeture d'une salle et au report d'interventions. Les différences dans les niveaux de besoins à satisfaire, dépendant de la nature des tâches, se répercutent sur la flexibilité des plannings et sur le choix de mode de planification (cyclique ou non cyclique).

La liste des paramètres qui impactent le problème de génération de plannings infirmiers est la suivante :

- La plage d'ouverture journalière du service ;
- Le nombre de jours pendant lesquels le service fonctionne par semaine ;
- La durée des vacations de travail ;
- La composition de l'effectif (régime de travail de chaque infirmier : temps complet ou temps partiel) ;
- La politique d'affectation des repos (isolés, consécutifs, etc.) ;
- Le type de besoins à satisfaire (besoin exact ou se situant dans une fourchette) ;
- Le type de planning choisi : cyclique ou non cyclique.

Ainsi, selon l'établissement et les services concernés, les problèmes rencontrés dans les unités de soins et ceux rencontrés dans les blocs opératoires peuvent être similaires ou totalement différents. Dans la littérature, le problème de planification « classique » des infirmiers des unités de soins, rencontrés dans des unités de soins continus (7 jours sur 7, 24 heures sur

24) a été majoritairement étudié. Ce problème consiste à affecter des vacations (Matin/Après-midi/Nuit) et des repos aux infirmiers, en respectant diverses contraintes : de charge (définie par un besoin fixé ou une fourchette de besoins), de succession d'activité, de temps de travail, de repos hebdomadaire, de préférences personnelles. Selon les techniques utilisées, on peut rechercher soit la satisfaction de l'ensemble des contraintes, soit l'optimisation d'un objectif. Dans le second cas, cet objectif peut comprendre différentes composantes telles que : le coût de personnel (à minimiser), le nombre de contraintes flexibles violées (à minimiser), l'équité de distribution des vacations impopulaires auprès des infirmiers (à maximiser).

Les classes de personnel soignant au bloc opératoire

Plusieurs catégories de personnel soignant travaillent au sein du plateau médico-technique. Chaque catégorie a un rôle à jouer dans l'organisation, ainsi qu'un périmètre d'action, qui peut varier d'un établissement à l'autre. En règle générale, les rôles sont distribués de la manière suivante :

- ***Infirmier de bloc opératoire diplômé d'État (IBODE)***. Il intervient principalement en salle d'intervention pour des actes invasifs (chirurgie), d'endoscopie ou de radiologie interventionnelle. L'IBODE peut avoir trois rôles :
 - Circulant : dans la salle, non habillé en stérile, il achemine auprès de la table d'opération les dispositifs médicaux nécessaires à l'intervention. Il assure le relais entre la zone stérile et la zone non protégée de circulation dans la salle. Les opérations réalisées sont liées : à la prise en charge du patient, au déroulement de l'acte opératoire, à la traçabilité (des dispositifs médicaux, de l'acte, des prélèvements, etc...), au respect des règles d'hygiène (lutte contre les infections nosocomiales) ;
 - Instrumentiste : il assiste le chirurgien dans la zone stérile. Son rôle est d'organiser et de gérer l'instrumentation de l'acte opératoire dans la zone protégée. Il doit : s'habiller chirurgicalement, préparer la table d'intervention, participer à la préparation du site opératoire, à l'installation des champs, gérer l'instrumentation (les techniques opératoires devant être connues à l'avance).
 - Aide opératoire : il aide et accompagne le chirurgien dans ses gestes opératoires (maintien des écarteurs, réalisation de ligatures, etc.). Cette fonction est encore peu assurée par des IBODE, mais elle le sera de plus en plus devant la pénurie d'internes qui se profile.

Des actions en dehors de l'acte opératoire, appelées péri-opératoires, liées aux procédures d'hygiène des locaux, à la maintenance de équipements, à la stérilisation des instruments, à la gestion des dispositifs médicaux stériles (DMS), doivent également être assurées.

Il n'y a pas d'exclusivité de fonction pour les IBODE. Il est courant que certains infirmiers diplômés d'État (IDE), ne possédant pas la qualification d'IBODE, exercent une fonction d'IBODE. Cette différence de qualification n'engendre pas de différences au niveau des activités réalisées.

- ***Infirmier anesthésiste diplômé d'État (IADE)***. Sous la responsabilité d'un médecin anesthésiste-réanimateur (MAR) qui peut intervenir à tout moment, l'IADE a l'exclusivité des fonctions pour appliquer les techniques suivantes : anesthésie générale (AG), anesthésie loco-régionale (ALR), réanimation peropératoire. En salle de surveillance post-interventionnelle (SSPI), il est habilité à la prise en charge de la continuité de l'anesthésie et de la douleur post-opératoire.

Son activité de soins en anesthésie consiste à : préparer le site d'anesthésie (contrôle des équipements, préparation des médicaments) ; accueillir le patient (contrôle du dossier et de l'état du patient) ; induire, surveiller et entretenir l'anesthésie (en présence du MAR) ; assurer la continuité de l'acte d'anesthésie en SSPI ; garantir la traçabilité et l'hygiène. Les activités péri-opératoires de gestion des matériels consommables en lien avec l'anesthésie (commande, réapprovisionnement), de même que la gestion de la désinfection des matériels sont également assurées par les IADE.

Il est courant que les activités de surveillance du réveil soient prises en charge par des IDE de réveil, ne disposant pas de la qualification d'IADE, mais étant formés à cette activité. Ce type d'organisation est de plus en plus souvent mis en place, et généralement, un IADE est chargé de la supervision de la SSPI. Dans le cas de petites structures, il arrive que ce soit des IADE qui surveillent le réveil des patients en SSPI. L'un d'eux pourra alors, si besoin et si la charge en réveil le permet, remplacer un IADE en salle.

- **Infirmier diplômé d'État (IDE).** Comme nous l'avons vu plus haut, un IDE ayant de l'expérience en bloc opératoire peut jouer le rôle d'un IBODE bien que de plus en plus d'entre eux suivent la formation. Actuellement seulement 30% des infirmiers assurant une fonction d'IBODE possède la qualification IBODE, cette proportion tendant à s'accroître. Dans la suite de ce mémoire, le terme IBODE englobera toutes les personnes faisant fonction d'IBODE, titulaires du diplôme d'État ou non.

Les autres IDE travaillant au bloc opératoire sont les IDE de réveil, remplaçant dans certains établissements les IADE pour l'activité de surveillance du réveil du patient. Ils interviennent durant toute l'ouverture de la SSPI, qui s'étend au-delà de la fermeture des salles d'intervention. Plusieurs vacations avec horaires décalés sont souvent nécessaires pour couvrir toute la plage d'ouverture de SSPI.

- **Aide soignant (AS) :** Les AS travaillent en collaboration avec les IBODE, les IADE et les IDE, dans les soins d'hygiène et de confort, la surveillance des patients, l'hygiène de l'environnement des patients, l'aide apportée aux personnes ayant perdu leur autonomie. Ils assurent notamment les activités en rapport avec : l'entretien des locaux (salles opératoires, couloirs, lieux de stockage) et des matériels (brancards, équipements, etc.) ; la stérilisation (prédésinfection des DMS) ; la prise en charge des patients (brancardage, installation pour l'anesthésie puis la chirurgie) ; la gestion (consommables, examens, linge, etc.).

Une partie des activités non soignantes (nettoyage de sols de salles d'intervention par exemple) tendent à être transférées vers des agents de service hospitalier (ASH), qui ne disposent pas de qualification particulière.

- **Agent de service hospitalier (ASH).** La principale fonction de l'agent de service hospitalier concerne l'hygiène des locaux. Au bloc opératoire, il a en charge le nettoyage des salles d'intervention, des véhicules sanitaires, des vestiaires, etc.

Il ne faut pas négliger l'importance du rôle des personnels en charge de l'hygiène et de l'entretien (AS et ASH), qui pourrait être considéré a priori comme assez marginal vis-à-vis de la prise en charge du patient, car cette catégorie de personnel a un fort impact sur le bon déroulement du processus de soin du patient, et peut se révéler être une ressource critique. C'est ce que nous verrons dans le chapitre 4.

Les problèmes de planification de personnel au bloc opératoire, sont liés à l'organisation du travail en place. Une enquête auprès de partenaires hospitaliers, nous a permis d'identifier les différentes pratiques existantes, qui sont détaillées ci-dessous.

Les différentes organisations

L'organisation du travail au sein du plateau médico-technique engendre des problèmes plus ou moins complexes à résoudre au niveau de la génération des plannings des personnels. Nous nous attachons ici à expliciter les différents cas de figures rencontrés au bloc opératoire.

Prise en charge de l'activité de nuit et de jours chômés

Les établissements de santé ayant une fonction d'accueil et le traitement des urgences doivent être en mesure de prendre en charge, dans les plus brefs délais, quel que soit le jour et l'heure de son arrivée, un cas de chirurgie se présentant. Les établissements qui n'ont pas cette fonction doivent également mettre en place une organisation adéquate qui soit réactive face à l'occurrence d'un aléa, tel que la détérioration de l'état d'un patient hospitalisé, nécessitant une reprise de chirurgie. Afin de garantir cette permanence des soins du plateau médico-technique plusieurs organisations sont envisageables pour le personnel soignant :

- **Les gardes sur place** : une équipe soignante (IBODE, IADE, AS, ASH) est affectée à une vacation de nuit ou de jour chaumée, et prend en charge les cas survenant hors des plages d'ouverture du bloc opératoire. Les vacations de jour et de nuit, de jours de semaine et de jours chaumés, doivent donc être distribuées entre les employés. Nous rentrons dans un cas de figure se rapprochant du problème classique de gestion des plannings infirmiers, avec au moins deux types de vacations (Jour/Nuit), voire trois (Matin/Soir/Nuit). Le temps travaillé durant les vacations de nuit est décompté du temps total, et payé qu'une intervention doive être réalisée durant la vacation ou non.
- **Les astreintes à domicile** : le personnel d'astreinte est celui qui est appelé en cas de nécessité et qui est tenu de se rendre dans les plus brefs délais de son domicile à l'hôpital dès qu'une demande est transmise. L'affectation aux astreintes chaque nuit ou jour chômé se fait sur la base du volontariat. Un forfait de base est versé pour chaque astreinte tenue, ainsi qu'un supplément pour les heures passées dans l'enceinte de l'hôpital. Ce temps de travail n'est pas décompté du temps total.

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature d'études portant sur l'aide au choix d'un système de gardes sur place ou d'astreintes à domicile.

Découpage des équipes

Lorsque le plateau médico-technique regroupe différents modes de prise en charge (pratique réglée, urgences, ambulatoire), il est fréquent de voir apparaître différentes équipes avec différents horaires de travail parmi le personnel soignant (IADE, IBODE, IDE et AS), assurant des vacations de 7, 8, 10 ou 12 heures, le matin, le soir ou la nuit. Selon les modes de prise en charge assurés au sein du PMT, nous avons vu que différentes configurations des salles sont possibles. Cela s'applique également aux personnels. On rencontre alors différents cas :

- Le personnel est organisé en équipes d'urgence, de réglé et d'ambulatoire : pour une période donnée (semaine, mois, année), le personnel intègre une équipe et conserve des tâches et des horaires de travail. Ainsi, dans un établissement avec une activité d'ambulatoire forte et d'urgences, les agents seront organisés en plusieurs équipes de réglé de jour (pratique réglée classique et ambulatoire) et d'urgences (journée et nuit). Les agents ont alors des horaires de travail fixes, qui ne changent que lors des rotations

d'équipes. Ce mode d'organisation (éventuellement cyclique) peut convenir au personnel tout comme le mécontenter : il présente des inconvénients et des avantages qui prendront plus ou moins d'importance selon les goûts des personnels. Ce type d'organisation facilite l'élaboration initiale des plannings et offre une vision à long terme des jours travaillés et des jours de repos. Une difficulté réside cependant dans la prise en compte et la satisfaction des préférences personnelles (jour de congés, changement d'équipes, etc.).

- Le personnel n'a pas d'appartenance à une équipe fixe : chaque agent est considéré individuellement, et possède un planning qui lui est propre. Selon ses aptitudes et ses préférences personnelles (jour de congés notamment), il est affecté à différentes tâches qui peuvent changer d'un jour sur l'autre. Ses horaires de travail ne sont pas fixes, mais varient selon l'activité à laquelle il est affecté. Ainsi chaque agent maîtrise les activités auxquelles il peut être affecté. Le temps passé à l'élaboration des plannings est important ; cependant il est corrélé au degré de satisfaction du personnel. Le planning est d'autre part moins souvent amené à être modifié car il prend en compte les desideratas du personnel dès son élaboration.

Ce choix de partage des personnels (en équipe ou non) dépend du souhait des personnels et des cadres de santé. Il est déterminant, autant pour l'adéquation des besoins avec les compétences du personnel que pour assurer la régularité des horaires de travail. En effet, pour l'ambulatoire et le programmé, les interventions ont lieu la journée, alors que la prise en charge des urgences chirurgicales nécessite la mise en place de plusieurs équipes avec des horaires plus matinaux ou tardifs (continuité des soins).

Compétences

Le personnel du bloc opératoire tend progressivement à devenir polyvalent. Le degré de polyvalence varie en fonction des catégories de personnel. Pour ne parler que des personnels soignants, les IADE interviendront en général sur un plus large spectre d'interventions que les IBODE. La spécialisation des IBODE vient de la spécificité des modes opératoires et des instruments de chaque groupe d'intervention, dont la maîtrise s'acquiert avec l'expérience. La maîtrise d'un mode opératoire pour un IBODE est essentielle au bon déroulement de l'intervention et il est vrai qu'un chirurgien préférera être assisté par un IBODE spécialisé dans ce type d'intervention plutôt que par un IBODE polyvalent.

Il est à noter que la polyvalence s'acquiert par la pratique. Elle nécessite l'établissement de plans de formation qui doivent en outre être acceptés par tous. Au final, on distingue comme suit le personnel spécialité du personnel polyvalent :

- Personnel spécialisé : compétent et efficace dans une spécialité donnée, pour laquelle il assure une qualité de soins maximale ainsi qu'une préparation optimale du matériel nécessaire aux interventions. Ce savoir-faire très développé rend ce personnel difficilement remplaçable.
- Personnel polyvalent : capable d'assurer plusieurs types d'intervention (pas forcément de toutes les spécialités, mais multicompétent), chaque employé possède un champ de compétences plus ou moins important. Cette multidisciplinarité des agents offre des possibilités de réponses à des aléas perturbateurs du programme opératoire (absence de personnel non prévue, arrivée d'une urgence, etc.). Par ailleurs, les compétences devant être régulièrement mises à niveau, un plan de rotation doit être élaboré.

Les problématiques de gestion de personnel

Nous résumons ici les différentes problématiques rencontrées lors des phases de conception et de pilotage d'un plateau médico-technique regroupé.

- **Définition claire des tâches de chacun** : il s'agit pour chaque processus (prise en charge du patient, nettoyage, gestion des déchets, etc.) de déterminer le type de personnel responsable de chaque tâche. Cette phase primordiale de la conception du système cible peut être outillée par la modélisation des processus et par la mise en place de groupes de travail tentant de répondre pour chaque processus aux habituelles questions du QQQQCP : qui, quoi, où, quand, comment, pourquoi ? La synthèse de ce travail doit aboutir à la rédaction de fiches de poste pour chaque type de personnel.
- **Définition de l'organisation sur les salles opératoires** : une fois les rôles attribués, l'organisation des personnels sur les salles doit être spécifiée. Selon le niveau de polyvalence et le degré de mutualisation souhaité, il s'agit de déterminer l'organisation de chaque type de personnel qui peut être : (1) affecté à des spécialités, (2) polyvalent tournant sur les spécialités, (3) affecté à des missions spécifiques transversales.
- **Évaluation de l'occupation des personnels** : cette étape consiste à valoriser les processus en durée d'exécution, de manière à connaître pour chaque tâche la durée d'occupation des ressources humaines affectées. Ces temps peuvent être estimés, mesurés, ou encore être extraits de bases de suivi d'activité. L'occupation réelle des ressources humaines sur la journée, n'est alors possible qu'en procédant à la simulation du fonctionnement du bloc opératoire absorbant un flux de patients.
- **Définition des horaires de travail et des effectifs** : A partir de la courbe d'occupation des personnels, correspondant à une charge à couvrir, il s'agit de déterminer les horaires de travail qui permettent de satisfaire la charge tout en étant le plus économique possible. A partir de cette définition des horaires et des règles sur le temps de travail appliquées dans l'établissement, il est possible de calculer l'effectif nécessaire pour couvrir la charge sur l'ensemble de l'année.
- **Élaboration des plannings** : le problème de construction des plannings des soignants consiste à déterminer pour chaque individu, ses jours et horaires de travail, ainsi que ses jours de repos sur un horizon de planification. Le problème à résoudre dépend de l'organisation des équipes choisie (affectation à des équipes fixes ou tournantes), des choix d'organisation (travail de nuit et niveau de mutualisation) et des processus de planification (cyclique ou non cyclique). Dans tous les cas, il doit respecter un certain nombre de contraintes liées à la réglementation du travail, ainsi qu'aux préférences individuelles des personnels. La qualité des plannings construits conditionne la satisfaction des personnels, ce qui a un impact non négligeable sur la qualité des soins prodigués au patient.

2.3.2 Les personnels médicaux

Autrefois très peu contraint par la réglementation, le travail des médecins est aujourd'hui soumis à une nouvelle législation limitant le temps médical. Cette nouvelle réglementation impose par exemple le repos post-garde (jour de repos imposé après une nuit de garde sur place), ainsi qu'une limite sur le nombre d'heures hebdomadaires travaillées (48 heures). Dans ce contexte, auquel s'ajoute la pénurie de personnel médical à venir, l'emploi du temps des médecins mérite également une attention particulière. Au bloc opératoire, travaillent principale-

ment deux types de médecins : les chirurgiens et les médecins anesthésistes. Selon les semaines, interviennent également ponctuellement d'autres médecins telles que les gastro-entérologues ou les radiologues.

Les **chirurgiens** (CHIR) sont les principaux opérateurs du processus de soins des patients séjournant au bloc opératoire pour y subir une intervention. C'est en fonction de leur emploi du temps que les interventions sont programmées. Ainsi, plus que des ressources humaines du plateau médico-technique, ils en sont en quelque sorte les « clients ». Ils se voient allouer des créneaux opératoires, y placent des interventions, les utilisent tout comme les autres ressources du PMT mises à leur disposition (infirmiers, dispositifs, etc.). Dans le cas de la programmation ouverte, leur présence au bloc opératoire n'est connue que lorsque les interventions ont été programmées. Le problème de planification des chirurgiens est donc un problème sous-jacent du problème de planification des interventions sous contraintes de disponibilité des chirurgiens. Dans le cas de la programmation par plages, leur présence au bloc opératoire est prévue et dépend du plan directeur d'allocation de plages (PDA). Les contraintes de disponibilité des chirurgiens sont prises en compte lors de l'élaboration du PDA, qui est ajusté au fil du temps en fonction des formations, enseignements, congrès rendant les chirurgiens indisponibles (et ne leur permettant plus de planifier des interventions sur ces créneaux). La planification des chirurgiens découplée de la planification des interventions ne présente donc pas un enjeu majeur pour le PMT regroupé.

Les **médecins anesthésistes réanimateurs** (MAR) font partie intégrante du personnel du PMT. Tout comme les chirurgiens, ils interviennent avant, pendant et après l'intervention d'un patient, mais leur relation avec le patient est beaucoup moins personnalisée. En effet, il arrive souvent, sans que la qualité des soins en soit altérée, que le médecin voyant un patient en consultation, soit différent de celui qui se charge de son anesthésie et de celui qui assurera le suivi post-opératoire dans l'unité de soins. Les médecins anesthésistes interviennent de manière transversale entre les différentes spécialités chirurgicales sur des activités programmées, d'ambulatoire et d'urgence, ceci dans le cadre de leur service journalier, de gardes ou d'astreintes. Pour l'organisation du travail des médecins anesthésistes, l'ensemble de leurs activités sont considéré, et non pas seulement celles réalisées dans l'enceinte du PMT. Pour chacune des activités, pré (consultation) per (anesthésie) et postopératoire (suivi dans les unités de soins), plusieurs choix d'organisation sont envisageables lors du regroupement des blocs opératoires, selon le degré de polyvalence des médecins et leur niveau de mutualisation. Tout en présentant une multicom pétence en anesthésie (aptitude à assurer l'anesthésie d'un patient subissant une intervention dans diverses spécialités chirurgicales), les médecins peuvent être organisés de manière cloisonnée ou bien mutualisés en un pool de personnel.

- Phase préopératoire : les consultations préanesthésiques réalisées en amont de l'intervention, peuvent soit être intégrées aux services cliniques soit être regroupées en centre de consultations polyvalent ou non. Dans un centre de consultations polyvalent, le patient, quelle que soit sa pathologie et la spécialité dont il relève, est reçu par l'un des médecins affecté à l'activité de consultation. Dans un centre de consultations cloisonné par spécialité, les médecins anesthésistes voient en consultation uniquement les patients de leur spécialité.
- Phase peropératoire : cette phase qui correspond au séjour du patient au bloc opératoire, est celle qui présente la plus forte présence de compétences liées aux spécialités chirurgicales pour un médecin anesthésiste. Là encore les MAR peuvent être soit affectés uniquement à certaines spécialités, soit faire partie d'un pool de personnel tournant sur les spécialités. Un autre choix d'organisation est à élucider : combien de médecins anesthésistes sont nécessaires à la réalisation d'une intervention ? D'après les décrets, le

MAR peut déléguer l'activité de surveillance de l'anesthésie durant l'intervention à un IADE, tout en conservant la responsabilité de celle-ci et se tenant prêt à intervenir à tout moment. Ce transfert d'activité autorise le MAR à assurer l'anesthésie dans deux salles opératoires, tant qu'un IADE est présent en permanence dans chacune des salles. Cette pratique présente un risque discuté (Albert *et al.*, 2003), mais elle est de plus en plus courante dans les hôpitaux, en réponse à la pénurie actuelle des médecins. La question est donc de savoir : faut-il un MAR par salle, ou un MAR pour deux salles ?

- Phase postopératoire : contrairement au suivi chirurgical, le suivi postopératoire anesthésique du patient peut être effectuée par un autre médecin que celui ayant réalisé l'anesthésie. Les MAR peuvent être soit affectés à un service clinique en particulier, soit assurer les visites dans plusieurs services correspondant à des spécialités différentes.

La gestion du temps médical, devenue de plus en plus stricte, incite les établissements à adopter une planification efficiente des médecins, ainsi qu'un suivi du temps travaillé indispensable à l'organisation de la paie. La planification des médecins anesthésistes, c'est-à-dire la définition des affectations individuelles des médecins aux activités de jour et de nuit ainsi que pré per et postopératoire, aujourd'hui souvent réalisée sans aide informatique, devient une tâche difficile, longue à réaliser à la main, particulièrement dans le cas du regroupement de PMT et de mutualisation des médecins.

2.4 Démarche proposée en réponse aux besoins hospitaliers

Dans ce chapitre, nous avons exposé les différentes problématiques qui apparaissent ou prennent de l'importance avec la construction de nouvelles installations regroupant les activités de chirurgie d'un ou plusieurs établissements, au sein d'un plateau médico-technique (PMT). Pour faire face aux problèmes de dimensionnement des nouvelles structures, de diagnostic de l'organisation existante et de conception de l'organisation cible, de pilotage des ressources mutualisées du PMT, des méthodes solides et des outils pour les mettre en œuvre sont nécessaires.

En réponse à ces besoins, nous proposons dans cette thèse d'apporter une **aide au dimensionnement et au pilotage des ressources du plateau médico-technique**. La mise en évidence de l'importance des facteurs humains à l'hôpital et de la nécessité d'adopter une gestion efficiente des **ressources humaines** (qui représentent une des plus grosses parts du budget global), nous a amené à nous focaliser sur les problèmes de dimensionnement et de pilotage de ce type de ressources.

La démarche que nous suggérons est décrite en détails au chapitre 4. Elle prend appui sur la **modélisation de l'existant** comme point de départ de la phase de pilotage et de la phase de conception et de dimensionnement du PMT :

- Dans la phase de pilotage, la modélisation de l'existant permet d'une part d'effectuer un **diagnostic de l'organisation** en place, et d'engager une démarche d'**amélioration de la performance** à partir des points d'amélioration détectés (chapitre 4). Le diagnostic du système nous permet également de mieux comprendre le système et d'identifier les besoins particuliers des gestionnaires en termes d'outils d'aide à la décision pour le pilotage des ressources. Notre angle d'approche étant orienté sur les ressources humaines, des **modèles de planification** sont proposés pour deux types ressources humaines mutualisées du PMT : les infirmiers anesthésistes (chapitre 6) et les médecins anesthésistes (chapitre 7). Les modèles proposés sont résolus à l'aide des techniques de program-

mation linéaire en nombres entiers (PLNE) et de programmation par propagation de contrainte (PPC).

- Dans la phase de conception, il s’agit de définir le dimensionnement des ressources, le déroulement des processus, le niveau de mutualisation des activités et l’organisation du travail dans la structure commune. A partir de la modélisation de plusieurs systèmes existants, nous proposons d’apporter une **aide à la modélisation des processus, au choix d’organisation et au dimensionnement des ressources humaines du PMT** (chapitre 5). Cette contribution est basée sur la modélisation et la simulation de flux, qui sont des techniques permettant d’évaluer le comportement d’un système avant de le mettre en place dans la réalité. Elles constituent alors un outil idéal pour évaluer les conséquences de choix organisationnels. Couplées à des techniques d’optimisation issues de la Recherche Opérationnelle, elles permettent d’apporter une aide au dimensionnement des ressources.

Chapitre 3

État de l'art

Ce chapitre propose un éclairage sur l'état de l'art des méthodes, approches et outils développés pour appréhender les problématiques soulevées par le regroupement de plateaux médico-techniques. Il comporte trois sections essentielles relatant les travaux sur lesquels se base la suite du mémoire.

Dans la phase de conception d'un plateau médico-technique regroupé, de même que dans sa phase de pilotage, les décideurs sont confrontés à un certains nombres de défis, que nous avons évoqués au chapitre 2. Nous avons parlé de ré-ingénierie des architectures et des organisation, de pilotage de la performance, de planification de l'utilisation des ressources. Nous avons également mis en évidence l'importance des ressources humaines, dont la gestion efficace a un impact non seulement économique mais également sur la qualité des soins.

La communauté francophone du Génie Industriel commence à s'intéresser de plus à plus à ces problématiques émergeant du milieu hospitalier et l'on assiste depuis l'an 2000 environ à la multiplication des travaux réalisés en collaboration avec les hôpitaux. Au niveau de la région Rhône-Alpes, nous pouvons citer les deux projets HRP (Hospital Resource Planning) et HRP² (Hôpitaux : Regroupement, Partage, Pilotage), véritables moteurs dans le développement de ce domaine de recherche.

L'organisation de l'état de l'art qui suit reprend la logique de la description des problématiques du chapitre précédent, ainsi que celle de notre proposition de contribution. Dans un premier temps, nous décrivons les concepts et approches développées gravitant autour du principe de modélisation des systèmes de production de soins. Nous montrons l'apport, pour la phase de réingénierie des organisations hospitalières et pour la conduite de projets d'amélioration de la performance, des méthodologies, des méthodes et des formalismes de modélisation rigoureux ayant fait leurs preuves dans le milieu industriel. Dans une seconde section, nous réduisons notre champ d'investigation et abordons la littérature ayant trait aux dimensionnement et à la planification des ressources des blocs opératoires, en nous limitant aux ressources matérielles. La planification des interventions sur les salles opératoires est le problème central du pilotage du plateau médico-technique, et elle constitue un préalable à l'élaboration des emplois du temps des personnels de cette structure. La troisième section dresse un large panorama des problèmes de gestion quantitative des ressources humaines abordés dans la littérature (problème de construction des vacations et problème de construction des planning), avec une attention particulière attribuée aux problèmes de planification des infirmiers.

3.1 Ré-ingénierie des organisations

Nous présentons ici les concepts de la modélisation d'entreprise, ainsi que les principales méthodes employées dans la littérature pour supporter les réorganisations hospitalières (section 3.1.1). Ensuite, nous nous attachons à décrire les approches proposées pour l'évaluation et l'amélioration de la performance par les indicateurs de performance.

3.1.1 Modélisation des systèmes

Pourquoi modéliser ?

Depuis quelques années déjà, la modélisation d'entreprise s'est imposée dans le milieu industriel comme un moyen puissant au service des organisations dans l'optique d'améliorer les performances et de faire face à la concurrence. De nombreux travaux ont montré l'utilité des méthodes de modélisation et de diagnostic pour l'analyse des systèmes hospitaliers, qui sont amenés à leur tour à entreprendre une démarche d'analyse dans le contexte actuel de réorganisation (Besombes *et al.*, 2004; Fontan *et al.*, 2004; Artiba *et al.*, 2003; Ducq *et al.*, 2005; Aleksey *et al.*, 2006).

La modélisation d'un système et plus globalement de l'entreprise permet de représenter sa structure et son fonctionnement. Cette représentation du fonctionnement doit permettre la compréhension du fonctionnement du système pour ensuite servir de cadre pour toute action de réingénierie envisagée. Les concepts et les représentations utilisés doivent être compréhensibles par le plus grand nombre de personnes (Doumeingt *et al.*, 1995). La modélisation des systèmes est utile « pour mieux voir, pour mieux comprendre et pour mieux agir » (Rakotondranaivo, 2006). Cette activité de mise à plat des pratiques, permet d'atteindre plusieurs finalités, selon les objectifs fixés au préalable lors de l'initialisation du projet : meilleure compréhension du système, meilleure communication entre les acteurs, évaluation de la performance par l'intermédiaire d'indicateurs, analyse des dysfonctionnements, simulation du comportement du système (pour le dimensionnement de ressources par exemple), spécification d'applications informatiques, etc. Selon Ducq *et al.* (2005) la principale des finalités de la modélisation d'entreprise est la réingénierie des processus et des organisations.

Fontan *et al.* (2004) distinguent trois types de travaux s'intéressant à la modélisation des flux de patients à l'hôpital, de manière plus ou moins détaillée :

- les études qui modélisent les flux afin d'élaborer des outils de simulation, permettant d'analyser de manière fine les performances des organisations (Moreno *et al.*, 2001, 1998; Standbridge, 1999; Centeno et Ismail, 2003) ;
- les études s'intéressant à l'analyse du parcours du patient, dans l'optique d'aboutir à la construction de tableaux de bords, permettant d'évaluer l'impact d'actions correctrices à déployer puis mises en place (Claveranne et Pascal, 2004; Kiner et Claveranne, 2000; Trilling *et al.*, 2004b) ;
- les travaux qui traitent, entre autres, du parcours du patient dans l'objectif de repenser les modes d'organisation du travail dans les différentes entités de l'hôpital (Minvielle, 1996; Besombes *et al.*, 2004).

Les méthodes de modélisation des systèmes sont nombreuses. Elles se distinguent par : le point de vue considéré pour la modélisation (fonctionnel, ressources, organisation, etc.) ; le système faisant l'objet de la modélisation (système opérant, système de décision, système

d'information) ; l'objectif de la modélisation (audit, analyse, conception) (GHC, 2003). Dans (Trilling, 2003), nous classons les différentes méthodes, méthodologies, architectures de références et cadres de modélisation en quatre catégories :

- les approches structurées basées sur le principe de la décomposition descendante, modulaire, hiérarchique et structurée qui permet d'appréhender toute la complexité d'un système : SADT, SART, IDEFx (Mayer *et al.*, 1995) ;
- les approches systémiques focalisées sur l'interaction des systèmes et plus particulièrement sur l'analyse des flux : MERISE (Dionisi, 1993), GRAI (Doumeingt *et al.*, 1998), GIM, PERA (Williams, 1992), CIMOSA (Vernadat, 1999), GERAM (GERAM, 1999), UEML (Petit et Doumeingts, 2002) ;
- les approches orientées processus fondées sur l'analyse et la réorganisation des systèmes sur les processus mis en œuvre dans l'entreprise : ARIS (Sheer, 2001), SCOR (SCC, 2003), EPRE (Kim et Kim, 1998), MECI (Pourcel et Gourc, 2002) ;
- les approches orientées objets souvent orientées conception de système d'information : UML (Kim *et al.*, 2003), FIDO (Shunk *et al.*, 2003), ALIX (Pichel *et al.*, 2003) ;

Quels que soient les formalismes utilisés par les méthodes, ils ont en commun de proposer différents niveaux d'abstractions (conceptuel, organisationnel, opérationnel) et différentes vues qui seront plus ou moins détaillées en fonction de l'objectif ou du projet d'amélioration poursuivi (Kosanke et e.V, 1996). Par ailleurs les méthodes proposées reposent sur la même démarche : modéliser l'existant pour émettre un diagnostic puis modéliser l'entreprise cible (ce à quoi doit ressembler l'entreprise pour répondre à ses objectifs) pour élaborer un plan d'actions.

Les vues de la modélisation d'entreprise pour l'analyse du PMT

Les méthodes de modélisation d'entreprise proposent d'appréhender le système étudié selon différentes vues complémentaires telles que la vue fonction, la vue processus, la vue organisation, la vue ressources, la vue information ou la vue décision. Selon les méthodes employées certaines vues ne sont pas représentées par un formalisme particulier, ou bien sont intégrés dans des vues plus globales. Ainsi dans (Besombes *et al.*, 2004), la modélisation d'entreprise appliquée au regroupement des plateaux médico-techniques (PMT) nous conduit à préconiser les approches qui proposent de modéliser les vues suivantes :

- *Vue système physique et ressources* : la vue ressources associée à la vue du système physique traduit la circulation des flux de patients et de matériels entre les différentes entités du système. Ce modèle construit de manière statique, peut être transformé en modèle de simulation dynamique utile pour valider le choix d'architecture et dimensionner les ressources.
- *Vue processus ou activités* : cette vue met en évidence le processus de production de soins comme il est vécu par les équipes soignantes. Cette mise à plat des pratiques, qui peuvent être très différentes d'un bloc opératoire à l'autre, permet de passer d'une connaissance tacite à une connaissance explicite et d'un savoir interne à une entité à un savoir collectif partagé.
- *Vue information* : elle représente les entités supportant l'information à traiter ou à utiliser, ainsi que les relations existantes entre ces entités. Elle permet d'identifier, prioriser et structurer les besoins en terme de flux d'information pour préciser leur utilité, et leur accessibilité. Cette vue, couplée à la vue processus, permet une représentation du Système d'Information Hospitalier (SIH) nécessaire à la rédaction du cahier des charges dans ses fonctions de recueil de l'information mais également de traitement de l'infor-

mation afin d'établir des tableaux de bords (Romeyer *et al.*, 2004).

- *Vue décision* : cette vue décrit les enchaînements des prises de décision pour le pilotage du PMT, hiérarchisées selon les niveaux de responsabilité et sur les horizons des décisions.
- *Vue organisation ou fonction* : la vue organisation représente les unités organisationnelles, c'est-à-dire les postes de travail et le personnel associé, ainsi que leurs relations, en précisant les différents niveaux hiérarchiques et de responsabilité. Elle définit l'architecture générale du ou des services, en précisant les rôles des différents intervenants, leurs compétences, leur répartition sur les postes de travail et leurs droits d'accès aux données du système. La vue des ressources apparaît également dans la vue organisation (Trilling, 2003).

Démarche d'analyse

Les vues citées ci-dessus s'inscrivent dans la démarche de mise en œuvre de la modélisation d'entreprise décrite dans la figure 3.1. Cette démarche fait apparaître une première phase d'analyse de l'existant permettant de comprendre le fonctionnement de chaque unité, d'en analyser les performances, et de mettre en évidence les dysfonctionnements, suivie d'une deuxième phase de conception du mode de fonctionnement cible qui sera validée dans le cadre de la réorganisation du PMT.

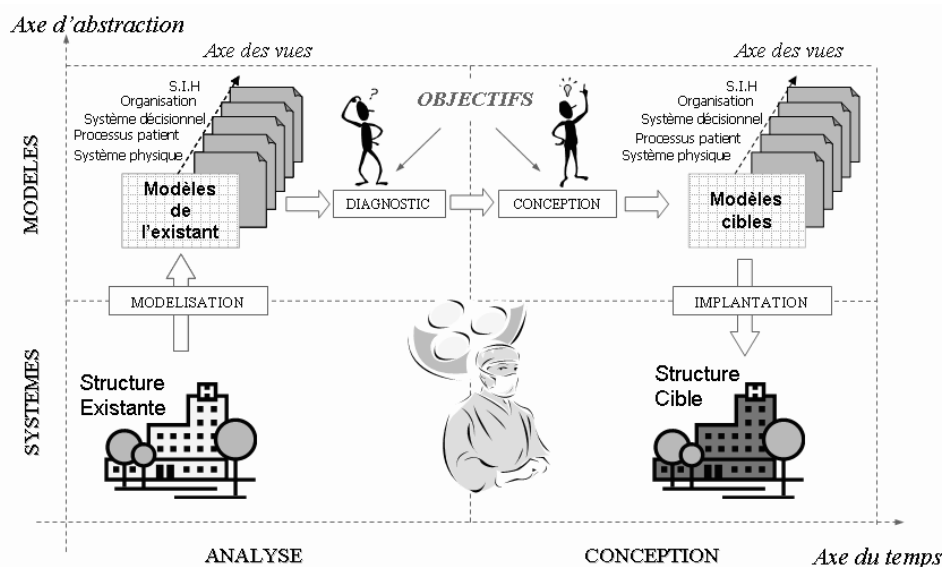


FIG. 3.1 – Démarche d'analyse (Besombes *et al.*, 2004)

- La phase d'analyse de l'existant comporte deux étapes majeures :
 1. Création des modèles de l'entreprise, à partir d'interviews des acteurs, en utilisant les cadres de modélisation appropriés selon différents (activités, information, organisation, ressources, etc.) ;
 2. Diagnostic de l'existant : Recherche des dysfonctionnements qui feront apparaître des actions à mettre en œuvre pour satisfaire les objectifs.

Ces deux étapes amèneront successivement à un questionnement sur : « Que fait-on ? » « Pourquoi le fait-on ? » « Quand le fait-on ? » « Où le fait-on ? » « Qui le fait ? » « Comment le fait-on ? (données, ressources matérielles, ressources humaines) » « Comment évalue-t-on ? ».

- La phase de conception du système cible se décompose de la manière suivante :
 1. Construction du modèle du système cible, correspondant à la description du fonctionnement idéal. Le nouveau modèle illustre les solutions au niveau global (Quand ? Qui ? Où ?) et au niveau détaillé (Comment ?), selon les différentes vues adoptées ;
 2. Mise en œuvre de la nouvelle solution dans le monde réel.

Les approches pour la modélisation

Nous ne présentons pas dans cette section l'ensemble des méthodes, méthodologies, cadres de modélisation et architectures de références susceptibles d'être appliqués à l'analyse des systèmes de production de biens ou de services en général (Trilling, 2003). Nous préférons porter davantage notre attention sur les méthodes ayant été employées effectivement dans des projets de modélisation en vue d'une réorganisation hospitalière.

SADT

L'analyse structurée repose sur un principe simple : celui de la décomposition descendante, modulaire, hiérarchique et structurée qui permet d'appréhender toute la complexité d'un système. La méthode **SADT** (Structured Analysis Design Technique), utilise un langage graphique standardisé de communication : le langage S.A. (Structured Analysis). L'analyse du système est représentée sous forme d'une collection de diagrammes organisés hiérarchiquement et comportant un nombre limité d'éléments. Cette modélisation porte sur les actions du système analysé, représentées par les actigrammes, et sur les données que ce système doit traiter, représentées par les datagrammes, dans une structure arborescente de ce système. La figure 3.2 illustre le principe de décomposition hiérarchique et le formalisme de l'actigramme SADT. Le symbolisme utilisé est celui de la boîte représentant, selon l'approche l'activité ou la donnée, et de la flèche définissant les flots ou les actions suivant la vue considérée. La méthode SADT permet principalement de faire apparaître la vue du système physique et la vue processus.

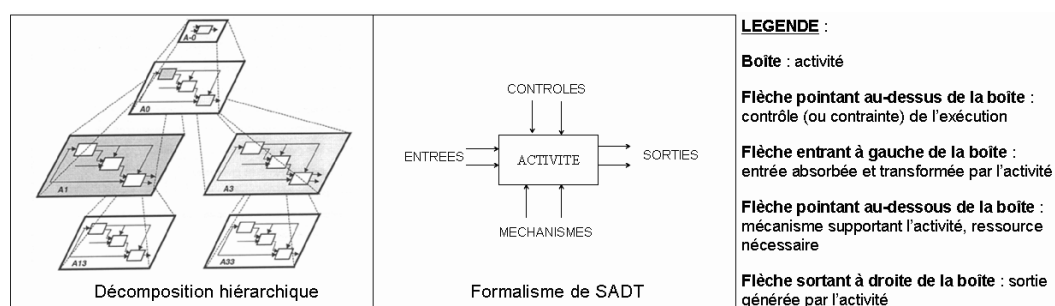


FIG. 3.2 – Formalisme de SADT et de IDEF0

La décomposition par les activités privilégie l'aspect des événements, alors que la décomposition par les données, moins utilisée, favorise l'aspect des objets. Les flèches interfaces entre les fonctions de type sortie-contrôle, donnent une idée sur la logique de contrôle et de déclenchement des fonctions. La validation des connaissances s'effectue grâce à un cycle d'auteur lecteur, qui assure la communication entre les analystes et les experts.

Dans un article présentant une méthodologie pour l'élaboration des besoins fonctionnels de système d'information hospitalier, Staccini *et al.* (2001) propose l'utilisation du formalisme

SADT pour extraire et structurer la description des activités, et applique cette méthodologie sur le processus de transfusion sanguine.

Chaabane (2004) présente une analyse complète des activités, des ressources et des flux du processus opératoire existant d'un hôpital public lyonnais. L'objectif de l'étude de l'existant menée était d'analyser les différentes activités du processus opératoire afin d'identifier d'une part les forces et faiblesses du fonctionnement en place, et d'autre part, les différents problèmes de gestion.

GRAI

La méthodologie **GRAI** (Graphes et Réseaux d'activités Inter reliés) est une méthodologie d'analyse et de conception des systèmes de décision et de gestion de production mise au point par le laboratoire GRAI de Bordeaux. Elle fait partie, tout comme MERISE, CIMOSA, PETRA, des approches systémiques qui se focalisent sur l'interaction des systèmes et plus particulièrement sur l'analyse des flux. Chaque système se décompose en sous-systèmes (Le Moigne, 1990). Au sein de chaque sous-système, on distingue deux parties : Le système de pilotage comprenant le système de décision (chargé de décider des actions à entreprendre) et le système d'information (qui collecte, mémorise, traite et distribue l'information) ; Le système opérant qui assure les fonctions (fabriquer, livrer, facturer, approvisionner dans le cas d'une industrie, ou accueillir, soigner, nettoyer, stériliser, dans le cas d'un établissement de santé).

L'objectif de la méthodologie GRAI est de fournir une démarche basée sur la conduite de projet permettant d'améliorer les performances de l'entreprise. Elle fournit un modèle de référence, le modèle GRAI, basé sur les concepts de système et de processus et utilisant les outils principaux de la méthode : la grille GRAI (pour le modèle du système décisionnel) et le réseau GRAI (modèle détaillé de chaque centre de décision) (figure 3.3).

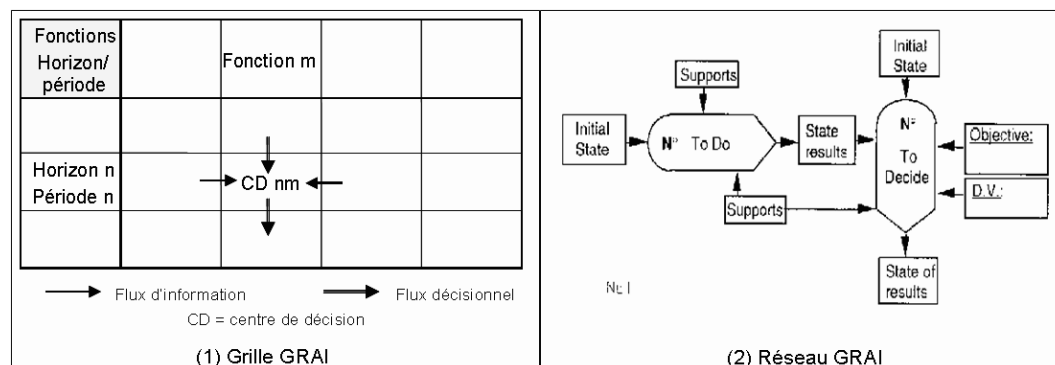


FIG. 3.3 – Le modèle GRAI

La grille GRAI représente la base de la phase d'analyse de la méthode GRAI, en apportant une vision globale et macroscopique de la structure du système étudié. Elle permet de représenter le système décisionnel de l'entreprise, décomposé suivant deux axes, l'axe vertical traduisant le critère temporel (niveau de décision caractérisé par un couple (Horizon ; Période)), l'axe horizontal correspondant à la nature de la décision (activité fonctionnelle). Cette matrice permet de coordonner la vue fonctionnelle de l'entreprise et la vue processus par niveau de décision. Les centres de décisions situés à l'intersection entre les fonctions et les niveaux de décision s'échangent des flux de deux types : flux d'information (simple flèche) et flux de décision (double flèche). Le but du réseau GRAI est de connecter entre eux, les activités et les résultats des activités. Un réseau est composé de 4 éléments fondamentaux : l'activité (de décision ou de transformation), l'état initial (entrée de l'activité), le support (in-

formation, méthode, outils, cadre de décision), le résultat (sortie de l'activité). Les activités sont représentées par des étiquettes orientées verticalement pour les activités de décision (« *to decide* ») et horizontalement pour les activités de transformation (« *to do* »), comme indiqué sur la figure 3.3.

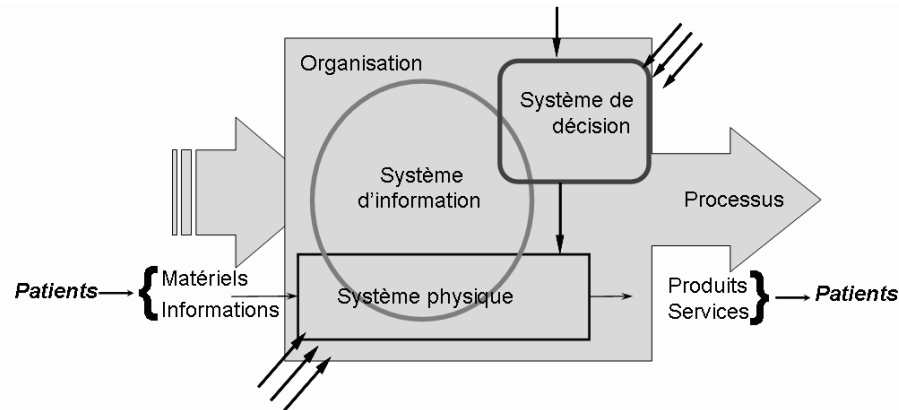


FIG. 3.4 – Analyse multi-vue du système de production de soin avec GIM

Besombes *et al.* (2004) utilisent une approche basée sur les concepts de la méthode GRAI pour mettre en évidence la modification des pratiques liées au regroupement des blocs opératoires au sein d'un PMT du CHU de Saint-Etienne. Plus exactement, il exploite le cadre de modélisation GIM (*GRAI Integrated Method*) qui étend le champ de modélisation à tout le système de production et non plus seulement au système de décision. GIM (figure 3.4) couvre la modélisation des trois sous-systèmes du système de production : le système de décision, le système physique et le système d'information. Le schéma de la figure 3.4 décrit l'approche mutli-vue suivie par (Besombes *et al.*, 2004) pour appréhender la complexité du PMT. Après avoir modélisé dans un premier temps le système physique de circulation des flux de patients entre les entités fonctionnelles à l'aide de l'actigramme SADT-IDEF0, les auteurs ont cherché, par la mise en place de groupes de travail, à identifier les différentes pratiques existantes selon les modes de prise en charge. La modélisation du processus de prise en charge du patient, a permis de mettre en évidence la complexité du pilotage du PMT et de souligner la nécessité d'une coordination des activités. Par l'élaboration de la grille décisionnelle GRAI, les auteurs ont pu formaliser l'ensemble des décisions, parfois implicites, dont le cadre de bloc opératoire est responsable. Accompagnant acteurs du PMT vivant le regroupement, les auteurs sont investis dans l'élaboration collective du modèle cible de l'organisation de la structure regroupée.

Ducq *et al.* (2005) démontrent également l'applicabilité et l'intérêt des méthodes de modélisation d'entreprise pour la réorganisation d'un établissement de santé. Leur retour d'expérience sur l'utilisation de la méthode GRAI et du module GIM, dans un projet de réorganisation d'une clinique PSPH¹, insiste notamment sur la bonne appropriation de la méthode et des formalismes utilisés par les acteurs de terrain, qui a permis d'étudier l'existant, de le diagnostiquer et d'élaborer le modèle du système cible.

MECI et ALIX

La méthode **MECI** (Modélisation d'Entreprise pour la Conception Intégrée) est une méthode orientée processus et organisation. Elle comporte une description du système étudié

¹Établissement Participant au Service Public Hospitalier

selon les points de vue fonctionnel, décision ainsi qu'organisationnel et structurel. Le méta-modèle fonctionnel de la méthode repose sur les éléments tâches et ressources. La méthode suit une démarche en trois phases (Pourcel et Gourc, 2002) :

- La phase d'avant-projet, à l'issue de laquelle est élaboré le cahier des charges du projet de modélisation ;
- La phase de modélisation du système, qui aboutit à un rapport d'analyse du projet de modélisation ;
- La phase d'utilisation du modèle, à définir selon les objectifs du projet de modélisation : par exemple simuler le système existant et analyser la performance, tester et comparer différents scénarios d'amélioration, ou communiquer sur les processus dans une démarche de type benchmark.

Pourcel et Villaume (2003) appliquent cette méthode à la réingénierie des services de biochimie et d'hématologie d'un hôpital, dans le cadre du regroupement d'activités et d'automatisation de certains processus.

La démarche de modélisation **ALIX** se base également sur un schéma classique (Artiba *et al.*, 2003) :

- Cerner le système, c'est-à-dire la partie du monde réel à étudier ;
- Analyser l'existant et recueillir l'information nécessaire pour la création du modèle ;
- Modéliser le système, les sous-systèmes, les objets et les processus ;
- Transformer le modèle en modèle de simulation ;
- Analyser les résultats fournis par la simulation, afin d'agir sur le monde réel pour : améliorer les performances, réduire les dysfonctionnements, choisir la meilleure alternative.

Le formalisme d'ALIX, qui tente d'allier les avantages d'une représentation orientée objets telle que UML (Unified Modeling Language) et une simplicité de représentation à l'image de SADT, convient particulièrement pour des études ayant recours à la simulation (Pichel *et al.*, 2003). Il s'articule autour de deux éléments : les activités qui correspondent aux tâches réalisées par les acteurs, et les objets qui peuvent être transformés (produits) en traversant le système et les activités ou bien utilisés (ressources) pour supporter les activités. Enfin des liens entre les activités représentent le parcours d'un objet transformé.

Dans (Artiba *et al.*, 2003), les auteurs proposent de cartographier les processus à l'aide des deux méthodes : MECI et ALIX. Ils emploient avec succès ces méthodes dans le cadre de projets de modélisation et de réorganisation de services hospitaliers.

ARIS

ARIS (*Architecture Reference Integrated System*) peut être à la fois vu comme une approche orientée processus et comme un cadre de modélisation (Sheer, 2001). Il repose sur un concept d'intégration dicté par une vision globale des processus de l'entreprise. L'approche ARIS est supportée par l'outil de modélisation ARIS Toolset, qui permet de mener un projet de modélisation en assurant une cohérence dans le modèle ainsi qu'une facilité de communication.

L'ARIS propose de décomposer le modèle de l'entreprise selon des vues descriptives, pour lesquels plusieurs types de modèles sont disponibles (figure 3.5) : la vue organisation qui représente les unités organisationnelles (services, acteurs) ainsi que leurs relations (supériorité, appartenance) ; la vue des données qui rassemble les informations utilisées et produites par

l'entreprise ; la vue des fonctions qui fait apparaître les fonctions réalisées ; la vue processus, qui met en relation les éléments décrits dans les trois vues précédentes, qui précise les processus de l'entreprise, les enchaînements entre les fonctions, et les unités organisationnelles impliquées dans leur exécution.

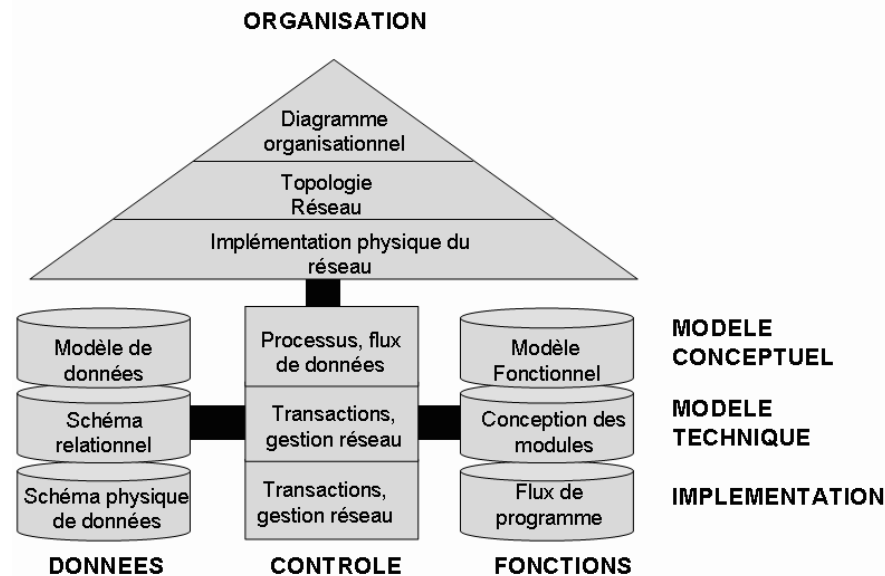


FIG. 3.5 – Architecture ARIS

Trois niveaux descriptifs sont associés à chaque vue : le niveau modèle conceptuel qui représente les règles de gestion d'entreprise servant de base à la traduction en outils de traitement de l'information ; le niveau modèle technique, qui contient les méthodes réalisant les fonctions spécialisées (algorithmes, requêtes) ; le niveau implémentation qui convertit le niveau technique en composants informatiques concrets.

Souvent utilisé pour la réingénierie des systèmes informatiques (ce cadre sert de base à la spécification de SAP), ARIS peut néanmoins être utilisé à des fins de réingénierie des processus non informatisés, tels que celui de production de soins dans un établissement de santé. Dans (Trilling *et al.*, 2004b), nous modélisons le système opérant et le système de décision du PMT regroupé d'un centre hospitalier PSPH à l'aide de la méthode et du formalisme d'ARIS. Il s'agit non seulement de capitaliser les connaissances sur les processus, sur le système de décision, mais aussi de diagnostiquer l'existant et d'engager une démarche d'amélioration de la performance. Le chapitre 4 reprend la démarche et les résultats de (Trilling *et al.*, 2004b), et à cette occasion, la démarche et les modèles proposés par la méthode ARIS sont développés.

Bilan sur la modélisation

La modélisation d'une entreprise ou d'une organisation n'est pas une fin en soit. Elle est un moyen efficace de traduire le fonctionnement d'un système et de faciliter sa compréhension globale. Vecteur de communication entre les acteurs, elle permet de capitaliser et de partager les connaissances et les pratiques, objectivées par le dialogue et la validation de visions communes. La modélisation n'est pas le fruit du travail d'une seule personne objective, mais favorise l'implication des acteurs qui, en traduisant le fonctionnement existant, prépare la définition collective du fonctionnement cible. La modélisation de l'existant constitue le point de départ pour :

- la simulation du comportement et des flux,
- le dimensionnement des ressources,
- la spécification d'applications, informatiques,
- la mise en place d'indicateurs pour l'évaluation de la performance,
- la conduite d'une démarche d'amélioration permanente.

3.1.2 Évaluation et amélioration de la performance

Les indicateurs de performance

Selon Berrah (2002), « les indicateurs de performance sont les instruments du pilotage ». L'AFGI² propose la définition suivante : « Un indicateur de performance est une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité et/ou l'efficience de toute ou partie d'un processus ou d'un système (réel ou simulé) par rapport à une norme, un plan ou un objectif, déterminé et accepté dans la cadre d'une stratégie d'entreprise » (AFGI, 1992). Cette définition met en évidence différents aspects : l'indicateur se mesure, s'évalue par rapport à un objectif, se décline tout comme les objectifs à différents niveaux stratégiques de l'entreprise. L'indicateur peut être mesuré soit à partir d'un relevé du monde réel pour évaluer l'impact d'une action correctrice implantée, soit à partir d'une simulation permettant ainsi d'évaluer l'impact prévisionnel d'une modification de l'organisation.

Suivant ce principe et l'appliquant au secteur chirurgical des systèmes de santé, Besombes *et al.* (2006) distinguent 5 types d'indicateurs pour l'activité des blocs opératoires, qui sont le support de déclinaison de la stratégie de l'établissement, depuis le niveau stratégique jusqu'au niveau opérationnel :

- Indicateurs d'activités : ils aident la direction à connaître l'activité du bloc opératoire de manière quantitative (nombre d'actes, durées d'intervention, etc.) ;
- Indicateurs économiques : reliés aux coûts, ils permettent de d'évaluer les dépenses, de les maîtriser et d'optimiser l'utilisation des ressources (par exemple le chiffre d'affaire par intervention ou le coût par intervention) ;
- Indicateurs de processus et de maîtrise des risques : concernant les processus de prise en charge des patients, mais aussi les processus techniques et les processus organisationnels, ils permettent d'évaluer le bon déroulement des processus en prenant en compte des critères tels que le taux de conformité des dossiers, le taux de préprogrammation ou le taux de reprise de chirurgie ;
- Indicateurs de perception ou de satisfaction des patients, de leur famille et du médecin traitant : ils traduisent la vision du client sur son séjour au bloc opératoire et sur la qualité de sa prise en charge (par exemple le nombre de plaintes, la prise en charge de la douleur ou le respect de l'intimité et de la pudeur) ;
- Indicateurs d'apprentissage organisationnel : ils permettent d'évaluer la capacité de l'établissement à améliorer ses pratiques et à résoudre les dysfonctionnements (par exemple le turnover des personnels du bloc, la qualité d'estimation des durées opératoires, ou taux de retard des interventions).

Les auteurs s'appuient sur la méthode ECOGRAI (Blanc et Ducq, 2005) pour la définition et l'implantation d'un système d'indicateurs de performance nécessaires à l'évaluation de la performance du PMT. Ils cherchent à représenter les interactions entre les différents points de vue de la modélisation d'entreprise préconisés par la méthode GRAI. Pour chaque centre

² Association Française de Gestion Industrielle

de décision, ils ont identifié, par la mise en place de groupes projet, le triplet « Objectif - Variables d'action - Indicateurs de performance » d'ECOGRAI.

Bounekkar *et al.* (2006) proposent l'utilisation couplée du diagramme de cause-effet Ishikawa et de l'approche industrielle AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité), dans un approche top-down, afin d'identifier les variables d'actions associées aux indicateurs stratégiques. Le diagramme Ishikawa recense les causes possibles (facteurs) pour un effet déterminé, et permet de les classer selon 5 familles (main d'œuvre, milieu, méthodes, moyen et matière/matériel) en les représentant graphiquement sous forme d'un schéma en arête de poisson. L'apport de l'AMDEC dans la suite de la démarche est de faciliter la caractérisation et la hiérarchisation des facteurs potentiels agissant sur les indicateurs, et qui sont recensés et classés dans le diagramme Ishikawa. Ensuite une méthode de régression multiple est proposée pour expliquer l'influence des facteurs sur l'indicateur. La démarche est appliquée au Taux d'Occupation des Salles (TOS), indicateur stratégique qui rentre dans la classe des « Indicateurs de processus et de maîtrise des risques » de (Besombes *et al.*, 2006).

Vidal *et al.* (2004) tirent également profit de l'AMDEC couplé à d'autres techniques, pour l'évaluation et l'amélioration de la performance. Ils s'intéressent à la création de valeur et à la complexité des services hospitaliers fonctionnant en réseau, et plus particulièrement d'un service d'hématologie associé à un réseau d'oncologie. Leur étude méthodologique est basée sur la dialogique ordre/désordre et comporte plusieurs étapes :

1. Identification et représentation de la logique d'ordre avec une analyse fonctionnelle et une modélisation par les Réseaux de Pétri.
2. Évaluation des désordres associés à l'ordre avec une analyse dysfonctionnelle de type AMDEC.
3. Identification et quantification des solutions créatrices de valeur avec la méthode MIC MAC (Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement), qui permet de dégager les variables explicatives essentielles d'un phénomène et de hiérarchiser les solutions proposées par l'AMDEC.

3.2 Dimensionnement et planification des ressources du PMT

Dans le chapitre 2, nous avons souligné l'importance des problématiques liées au dimensionnement et à la planification des ressources des blocs opératoires, notamment dans le cas d'un PMT regroupé. Cette section de la revue de littérature s'intéresse aux travaux abordant ces problématiques. Le domaine de recherche portant sur les ressources du milieu hospitalier est relativement nouveau. Il suscite actuellement un intérêt accru des scientifiques du domaine du Génie Industriel, comme en témoignent les références récentes citées ci-dessous.

3.2.1 Dimensionnement

D'après Marcon (2004), les travaux menés dans le domaine du dimensionnement des ressources, matérielles et humaines, s'articulent autour d'approches venant de deux domaines disciplinaires :

1. La recherche opérationnelle, pour le dimensionnement stratégique : les modèles mathématiques d'optimisation prennent en compte les contraintes et les objectifs majeurs du système en émettant des hypothèses pour permettre leur résolution.

2. La modélisation et la simulation à événements discrets, pour le dimensionnement opérationnel : la prise en compte par la simulation de phénomènes plus fins proches de la réalité du fonctionnement, sont plus appropriés pour opérer un ajustement au plus près des besoins, à plus court terme.

Le même auteur indique que la majorité des travaux utilisant simulation de flux et portant sur le dimensionnement des ressources hospitalières, portent sur les secteurs de chirurgie d'urgence dans lequel une demande stochastique sujette à des variations importantes doit être intégrée. La charge étant davantage prévisible dans le cas de la chirurgie réglée du PMT, l'utilisation de la programmation mathématique apparaît adaptée pour résoudre les problèmes de dimensionnement dans ce cas. Cependant, la nécessité d'adopter des hypothèses simplificatrices pour l'application des méthodes d'optimisation (données déterministes, disponibilité des ressources), diminuent leur intérêt pour le dimensionnement opérationnel et privilégie leur utilisation pour « un dimensionnement à un niveau stratégique ou tactique, correspondant respectivement aux périodes d'agrégation des consommations » (Marcon, 2004).

Marcon (2003) propose une méthodologie d'aide au dimensionnement dans laquelle les hypothèses simplificatrices de fonctionnement sont réduites grâce à l'utilisation conjointe de la simulation et de la modélisation mathématique. Le dimensionnement est abordé par une démarche hiérarchisée dans laquelle chaque problème (modélisation de l'activité, planification et ordonnancement de l'activité, dimensionnement des ressources) est découplé des autres. Cette démarche est appliquée au dimensionnement de deux types de ressources : celui des lits de salle de surveillance post-interventionnelle (SSPI) (Marcon *et al.*, 2003b) et du pool de brancardier mutualisé (Smolski *et al.*, 2002) d'un établissement. Les auteurs ont ainsi pu valider les choix architecturaux et le dimensionnement (nombre de salles, nombre de lits de réveil), définir la stratégie de gestion du pool de brancardier, clarifier la circulation des flux de patients et mettre en évidence les risques liés au surplus et au manque de certaines ressources. Les résultats obtenus ont montré que les problèmes présentant une part d'incertain forte (arrivée de la demande, durée de traitement) et une complexité dans les règles de gestion, étaient résolus de manière plus efficace et robuste par cette méthodologie que par l'utilisation des modèles de simulation ou de la recherche opérationnelle seuls.

Dussauchoy *et al.* (2003) tirent également profit de la simulation à événements discrets pour traduire le fonctionnement du bloc opératoire. Les auteurs s'intéressent entre autre au dimensionnement en nombre de salles et en lits de réveil. Pour cela, ils testent plusieurs scénarios combinant différents modèles de charge et différentes règles d'ordonnancement des interventions. Les auteurs constatent notamment, que l'ordonnancement a un fort impact sur l'occupation des lits de réveil, et qu'une règle de type LPT (*Longest Processing Time*), dans lequel les interventions les plus longues sont placées en début de programme opératoire, permet de réduire l'amplitude de l'ouverture de la SSPI.

L'intérêt de Reymondon *et al.* (2006) porte sur le dimensionnement du parc de dispositifs médicaux stériles (DMS)³ réutilisables du bloc opératoire. Rarement pris en compte dans la planification des interventions, ce type de ressources très onéreux peut néanmoins représenter un goulot. Il est pour cette raison primordial que le parc des DMS disponibles soit dimensionné et configuré de manière satisfaisante, afin de permettre le bon déroulement du programme opératoire tout en réduisant l'immobilisation. Les auteurs proposent une méthodologie pour définir l'organisation des DMS en conditionnements unitaires (un DMS par conditionnement) ou multiples (plusieurs DMS par conditionnement), qui couvre les besoins engendrés par la programmation opératoire, et qui minimise une fonction de coût comprenant le coût lié aux DMS, aux conditionnements choisis, au processus stérilisation, et à la non-utilisation d'un

³Les DMS sont généralement regroupés en boîtes et ont un trajet cyclique entre la salle de stockage du bloc opératoire, la salle d'intervention, la stérilisation

DMS. Le problème, d'une taille très importante, est résolu à l'aide d'une méthode d'exploration de voisinage par le recuit simulé et permet d'aboutir à une solution « hybride » entre les deux politiques de conditionnement extrêmes : le conditionnement unitaire (un conditionnement pour chaque DMS) et le conditionnement unique (un seul conditionnement regroupant l'ensemble DMS nécessaires à chaque intervention). Cette solution hybride détermine la taille du stock de DMS du PMT.

3.2.2 Planification des ressources du PMT

Dans le chapitre 2, nous avons identifié une série de problématiques auxquelles étaient confrontées les gestionnaires de bloc opératoire concernant la planification et l'affectation des ressources du PMT. Le processus planification des interventions ou programmation opératoire permet de définir le planning d'occupation des salles opératoires par les interventions, et sert également de base à la planification des ressources humaines nécessaires à la réalisation de ces interventions. Ainsi, nous focalisons cette partie de l'état de l'art sur les travaux traitant les problématiques de programmation opératoire. Les références associées aux autres problématiques de planification des ressources hospitalières (planification des lits, du matériel) ont été cités dans la section 2.2.2.

Il existe plusieurs modes de programmation opératoire. Pour chacun d'eux la recherche d'un programme optimal comprend différents niveaux.

La **programmation ouverte** comprend une phase de planification des interventions sur les jours de la semaine et les salles opératoires, et une phase d'ordonnancement qui consiste à déterminer le séquençement optimal des interventions sur les salles.

Dexter *et al.* (1999a) utilisent le *bin packing* pour la planification des interventions et l'ajout d'interventions supplémentaires, ainsi que des contraintes floues permettant de prendre en compte l'incertitude sur la durée des interventions. Plusieurs heuristiques de *bin packing* sont testées, et les auteurs retiennent que l'algorithme de « *best fit* décroissant » est le plus adapté pour l'intégration des cas supplémentaires, assurant ainsi la meilleure occupation des salles.

Marcon *et al.* (2003a) proposent un modèle de négociation d'aide à l'élaboration du planning opératoire basé sur la maîtrise du risque de non-réalisation (RNR). Ce risque provient de la nature probabiliste des durées des interventions. Le problème est modélisé à l'aide d'une adaptation du problème de « Sac à dos multiple ». Dans une première phase statique, un planning opératoire est construit à partir des contraintes des intervenants et d'un ensemble d'interventions à placer, tout en maximisant l'utilisation des salles. Ce planning fixe le niveau de RNR, qui est recalculé à un autre instant dans une seconde phase dynamique en utilisant la simulation de flux. Si le risque est trop élevé, le programme peut être modifié itérativement jusqu'à atteindre une solution satisfaisant au mieux les contraintes. Dans (Marcon *et al.*, 2001) les auteurs proposent une approche de minimisation du RNR plutôt que de maîtrise, qui agrège le planning opératoire et le suivi du RNR sans remise en cause du planning.

Kharraja *et al.* (2002) considèrent deux approches pour l'ordonnancement des interventions sur les salles : celle centrée sur les salles d'opération, et celle centrée sur l'ensemble « salles d'opération - SSPI⁴ ». Pour la première les auteurs proposent un modèle mathématique et une résolution par satisfaction de contraintes du problème d'ordonnancement, avec pour objectif la minimisation des temps improductifs des chirurgiens (entre les interventions)

⁴Salle de Surveillance Post-Interventionnelle

et le lissage des heures de fermeture sur les salles.

Guinet et Chaabane (2003) décomposent la planification opératoire en deux phases. Dans un premier temps ils modélisent le problème de planification des interventions à l'aide d'un programme linéaire en nombres entiers permettant d'affecter une salle d'intervention et un créneau horaire à chaque intervention inscrite au programme. L'objectif recherché est de minimiser d'une part l'écart entre la date d'hospitalisation et la date d'intervention (attente du patient), et d'autre part le dépassement des heures d'ouverture du bloc opératoire. Le problème est résolu en un temps polynômial par une heuristique basée sur une extension de la méthode hongroise (Kuhn, 1955). La programmation des interventions permet de déterminer les horaires d'ouverture des salles d'opération (Chaabane, 2004), qui peuvent varier d'un jour sur l'autre. Dans un second temps les auteurs abordent la question de l'ordonnancement des interventions sur les salles, en prenant en considération l'étape de réveil dans leur démarche. Contrairement à Kharraja *et al.* (2002) qui considèrent le problème centré sur l'ensemble « salle d'opération - SSPI » comme un flow-shop hybride à deux étages avec contrainte de blocage (le patient reste en salle d'opération tant qu'un lit de réveil n'est pas disponible), Guinet et Chaabane (2003) le modélisent comme un flow-shop hybride à deux étages sans temps d'attente (dès que l'opération est terminée, la patient doit être transféré en SSPI), dont l'objectif est de minimiser le C_{max} (heure de fin de programme opératoire). Dans (Chaabane *et al.*, 2004b), les mêmes auteurs étendent leur approche en considérant les brancardiers comme troisième étage d'un flow-shop hybride avec contraintes de précédence.

Dans le cas de la **programmation par plages horaires**, avec ou sans processus d'ajustement (voir sections 2.1.2 et 2.2.2), l'essentiel de la difficulté se concentre dans l'élaboration d'un squelette de programme opératoire ou Plan Directeur d'Allocation des plages (PDA)⁵. La qualité du dimensionnement et du placement des plages a ensuite des impacts forts sur la qualité du remplissage de celles-ci et sur le dépassement horaire (Hammami, 2006). Selon les données disponibles sur l'historique de l'activité des chirurgiens dans l'établissement, les étapes d'élaboration du PDA diffèrent. Dans le cas d'un établissement nouveau ne possédant pas de données de suivi d'activité, la première étape consiste à faire une ébauche du PDA soit à partir de l'expertise des acteurs, soit en utilisant un modèle de référence (un autre établissement), soit en recueillant les meilleures pratiques (Stodd *et al.*, 1998). Dans une seconde étape, un processus d'apprentissage itératif permet de mettre à jour le PDA en fonction de l'évolution de l'environnement du PMT. Si l'établissement possède des données quantitatives basées sur un système d'information fiable, alors la seconde étape est objectivée par l'analyse des données et consiste à déterminer le volume des plages à allouer à chaque chirurgien ou groupe de chirurgien. Dexter *et al.* (1999b) proposent une technique d'extraction des données afin d'approcher par une loi normale la prévision du nombre total d'heures nécessaires pour chaque groupe de chirurgiens.

Dans la littérature sur le sujet, plusieurs types d'objectifs sont recherchés. Blake (2002) cherche à l'aide d'un programme linéaire en nombres entiers à répartir équitablement les plages horaires entre les différents groupes de chirurgiens (correspondant souvent à une spécialité), en prenant en considérations les différents types de salles opératoires, mais en omettant la nature des interventions. Pour compléter ces travaux, Kharraja et Marcon (2003) proposent de construire un PDA en tenant compte des types d'interventions, de la demande horaire et de la disponibilité des chirurgiens, en cherchant à minimiser l'écart entre l'offre du bloc opératoire (le PDA) et la demande des chirurgiens. Les auteurs identifient ce problème à un problème de découpe et proposent plusieurs modèles linéaires en nombre entiers, en considérant une approche locale (affectation de chirurgiens aux salles puis établissement du planning opératoire) et une approche globale (planning élaboré en considérant les chirurgiens et les

⁵MSS en anglais, pour *Master Surgical Schedule*

salles). Kharraja et Marcon (2003) identifient également les plages dites « banalisées » qui correspondent à la somme des temps inexploités par plage horaire. Ils proposent une heuristique pour l'affectation de l'ensemble des interventions restantes aux plages banalisées en minimisant l'exploitation de celles-ci.

Hammami (2006) s'intéresse particulièrement au mode de programmation par allocation de plages avec processus d'ajustement. Elle propose une approche prédictive-réactive qui s'échelonne sur trois niveaux de planification : la construction du PDA, l'affectation des interventions, l'ajustement du programme par la prise en compte d'aléas. La phase prédictive consiste à : former des groupes de chirurgiens équilibrés, construire le PDA en créant des plages communes et des plages individuelles en minimisant le nombre de plages, puis affecter les interventions. Dans la phase réactive, il s'agit d'intégrer un aléa (de type urgence) dans le programme opératoire tout d'abord en recherchant une solution à l'intérieur d'une plage allouée au groupe de chirurgiens puis en recourant aux autres groupes, et enfin en redéfinissant si besoin les plages opératoires. Plusieurs modèles linéaires en nombres entiers sont proposés tout au long de la démarche.

3.3 Planification d'horaires de travail

La plupart des approches abordant la planification des activités au bloc opératoire sont focalisées sur la disponibilité des chirurgiens et des salles opératoires qui sont considérées comme les ressources critiques du bloc opératoire. La programmation opératoire détermine la charge absorbée par les salles d'intervention mais conditionne également celle des autres ressources. C'est à partir de la programmation des interventions que sont élaborés les emplois du temps des autres personnels du PMT : les médecins anesthésistes, les personnels soignants, les personnels de nettoyage. Pour aborder les problèmes de dimensionnement et de planification des personnels (hors chirurgien) du PMT, il nous semble intéressant de donner un aperçu de la littérature concernant la planification d'horaires de travail.

Le problème de planification du travail des employés inclut plusieurs sous-problèmes qui sont présents dans différents secteurs d'activité tels que les industries, les hôpitaux, les transports publics, les universités, les compagnies aériennes. Selon le domaine concerné, ce problème est désigné par différentes appellations dans la littérature, qui est principalement anglophone. Les termes fréquemment employés sont : *workforce scheduling*, *manpower scheduling*, *staff scheduling*, *shift scheduling*, *employee timetableing*, *employee scheduling*, *personnel scheduling*, *crew scheduling*, *labor shift scheduling* (Musliu, 2001). Dans la communauté francophone, on emploie les termes de planification d'horaires, gestion quantitative des ressources humaines, construction de planning, etc. Il faut noter également, que le terme *scheduling* est souvent remplacé par le terme *rostering*, et nous les considérerons par la suite comme synonymes.

Dans la suite de cette section, nous rappelons les notions, concepts et définitions liés aux problèmes de planification d'horaires des personnels. Plusieurs classifications des problèmes peuvent être retrouvées dans la littérature. On note que certaines se recoupent et décrivent les mêmes concepts en utilisant des terminologies différentes, et que d'autres utilisent un même terme pour désigner des concepts différents. Ensuite, nous détaillons les caractéristiques des différents problèmes rencontrés, ainsi que les approches proposées dans la littérature.

3.3.1 Notions, concepts et définitions

Partouche (1998) donne une première définition de ce problème : « *Le problème de planification d'horaires de travail vise, pour un horizon de planification d'un jour à quelques mois, à dimensionner une force de travail et à optimiser l'utilisation de cette ressource de façon à couvrir un besoin exprimé par une charge de travail prévisionnelle, tout en respectant un ensemble de contraintes précises. Elle aboutit à des programmes définissant les horaires de travail et de repos de la force de travail* ».

Une autre définition est celle de Chan (2002) : « *La planification vise à affecter les ressources humaines pour chaque intervalle de temps sur un horizon donné, de telle sorte que les besoins par intervalle soient couverts et que les différentes contraintes soient satisfaites* ».

Les contraintes à respecter doivent satisfaire les aspects « JuSTE » (Chan, 2002) :

- **Juridique** : législation française en matière de droit du travail (durées de travail et repos) sur différents horizons de temps (jour, semaine, mois, année).
- **Social** : répartition équitable des tâches entre les salariés, entre hommes et femmes, avec respect des indisponibilités, préférences individuelles et autres souhaits des salariés ; répartition équitable du temps de travail et du repos.
- **Technique** : les règlements des différents métiers de l'entreprise (prise en compte des compétences et des niveaux requis)
- **Economique** : prise en compte des besoins de l'entreprise à chaque moment de l'horizon de planification. Il s'agit de rechercher la meilleure adaptation de l'énergie disponible aux charges à chaque moment de l'horizon. On cherche à ne pas dépenser inutilement cette énergie (surtout lorsque les coûts salariaux peuvent représenter jusqu'à 70 % du budget de l'entreprise, comme c'est le cas pour les établissements de soins).

Lors de la construction d'un programme de travail, le but est de trouver le meilleur arbitrage possible entre trois critères : le coût, la qualité de service et la satisfaction sociale (figure 3.6). Par qualité de service on entend la réalisation des tâches de production de biens ou de services dans les meilleurs délais. Dans le secteur des services, où le travail ne peut pas être stocké, la couverture de la charge doit permettre de répondre à un besoin avec un personnel en nombre suffisant au bon moment. Le critère de coût recouvre les frais engendrés par les salaires, les formations, mais aussi les coûts liés aux éventuels dysfonctionnements engendrant par exemple des heures supplémentaires. Le critère de satisfaction sociale se mesure par le degré de satisfaction des préférences communes (maximiser l'équité et l'homogénéité dans les plannings, privilégier les jours de repos consécutifs) et des préférences individuelles des employés (respect des desideratas au niveau des jours de congés et des horaires de travail).

Précisons à présent quelques concepts liés aux problèmes de planification de personnel. Une **période** est un intervalle de temps, allant généralement de quelques minutes à une heure, pour lequel une charge de travail est définie.

Une **vacation** désigne un horaire de travail, spécifiant les périodes de travail et de pause au cours de la journée. Elle est caractérisée par une heure de début, une heure de fin ainsi qu'éventuellement, si la vacation inclut une ou plusieurs pauses, les heures de début et de fin de pauses. Chaque vacation est associée à un coût (lié au nombre d'heures travaillées et à la qualification requise). En anglais, le terme « vacation » se traduit par le mot *shift*.

Un **tour** ou **programme de travail** est un enchaînement de jours travaillés et de jours de repos. Cette succession de jours de travail et de jours de repos peut également être appelée

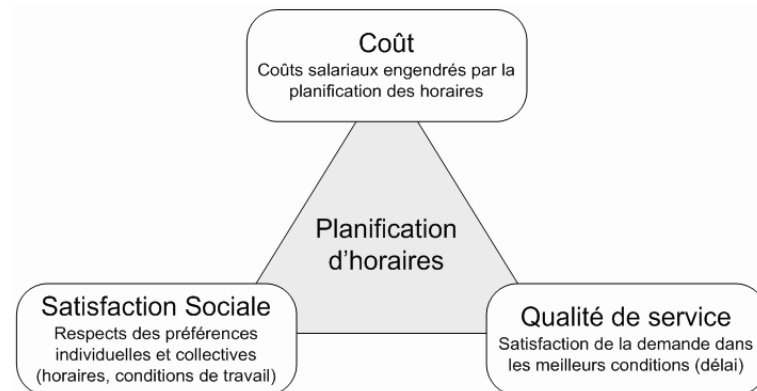


FIG. 3.6 – Recherche d'équilibre entre trois critères (Partouche, 1998)

programme de travail. Si les vacances des jours de travail sont précisées, ces enchaînements sont appelés **emplois du temps** ou **plannings individuels** des employés. Si les plannings individuels sont construits de façon cyclique, on peut parler de **rotation**.

Dans la littérature, deux types de plannings sont présentés : les plannings cycliques et les non cycliques.

- Les **plannings cycliques**, assez populaires, sont tels qu'une trame est répétée tant que les contraintes restent inchangées sur une période définie. Ces plannings présentent une certaine facilité de construction une fois la trame de base élaborée, et permettent de garantir l'équité dans le planning s'il y a roulement entre les employés. Cependant une difficulté réside dans la prise en compte et la satisfaction des préférences personnelles.
- Dans un processus de **planification non cyclique**, un nouveau planning est généré pour chaque horizon de planification. Les employés ne disposent donc pas de vision à long terme de leurs jours de travail et de leurs horaires. Le temps passé à l'élaboration de ce type de planning est plus important. Par contre, il présente l'avantage d'être relativement flexible face à une variation de la charge et permet d'intégrer plus facilement les préférences individuelles (Valouxis and Housos, 2000).

3.3.2 Classification des problèmes

Il existe plusieurs classifications des problèmes liées à la gestion quantitative des ressources humaines. Dans une des premières revues de littérature sur le sujet, Warner (1976) distinguent trois principaux problèmes de recherche dans le domaine de la gestion des infirmiers :

- les problèmes de *staffing* concernent les décisions à long terme. Il s'agit de déterminer le nombre de personnes en équivalent temps plein (ETP) nécessaire pour satisfaire la demande ;
- les problèmes de *scheduling*, s'attaquent aux décisions à moyen terme d'affectation des personnels aux vacations ;
- les problèmes de réallocation des infirmiers consistent à déterminer l'affectation des personnels aux vacations suite à l'arrivée d'événements imprévus tels que les absences (maladie, etc.).

Baker (1976) donne une classification des problèmes de planification de personnel (*scheduling*) en trois types :

1. La planification des vacations (*Shift Scheduling* ou *Time-of-Day Scheduling*) qui consiste

à définir le nombre de personnes à affecter à chaque vacation afin de respecter une charge et de minimiser le coût des vacations.

2. Le positionnement des jours de repos (*Days-off Scheduling* ou *Days-of-week Scheduling*) qui consiste à déterminer le nombre de personnes à affecter à des jours de repos (isolés ou consécutifs) en respectant une politique de repos (Drezet, 2005).
3. La planification des tours (*Tour Scheduling*), qui combine les deux autres types de problèmes, et qui consiste à déterminer le nombre de personnes à affecter à chaque tour en respectant la charge et la politique de repos.

Dans la classification proposée par Tien et Kamiyama (1982), les problèmes de planification de Baker sont précédés de deux étapes, qui traitent de problèmes à plus long terme (*staffing*) : la prévision de la demande par période (*Demand Modelling*), la prévision des effectifs nécessaires (*Manpower Requirement*). Ces problèmes d'ordre stratégique ont été beaucoup moins largement étudiés que les problèmes de planification à plus court terme.

A un niveau plus fin, Partouche (1998) donne une classification des problèmes de planification de personnels qui se décompose selon deux dimensions principales. La première dimension est basée sur la caractérisation des besoins (tâches, charge) et des ressources (personnel), la seconde sur l'horizon de planification.

– *Les besoins*

Il sont souvent exprimées à l'aide d'une charge à couvrir, elle-même construite à partir d'un ensemble de tâches à effectuer représentant la demande prévisionnelle.

- Les tâches peuvent être classées selon leurs caractéristiques de durée (longue/courte) et de préemption (sécable/non sécable).
- La charge, calculée à partir des tâches et du niveau de qualité de service attendue, indique le besoin en nombre d'employés. Pour les tâches courtes ou sécables, elle s'exprime sous la forme d'une courbe de charge (besoin en nombre d'employés par période), alors que pour les tâches longues et non sécables, elle correspond au nombre de personnes requises par tâche. Une courbe de charge possède plusieurs caractéristiques : la variabilité (constante/variable), la continuité sur les heures de la journée (continue/discontinue), la continuité sur les jours de la semaine (étendue/limitée).

– *Les ressources*

Les employés constituant la force de travail, peuvent être répartis en différentes classes de personnel, chacune des classes étant caractérisée par un type de contrat de travail (CDI, CDD, intérimaire) et une durée de travail hebdomadaire (temps complet ou temps partiel). Deux autres dimensions sont à considérer :

- L'effectif (limité/illimité) et la disponibilité (toujours disponible/prise en compte d'indisponibilités) ;
- Les qualifications (personnel mono-qualifié/personnel multi-qualifié).

Si les employés d'une classe de personnel ont tous les mêmes qualifications et les mêmes disponibilités, le personnel de cette classe est homogène. C'est une hypothèse que font la plupart des travaux portant sur la planification d'horaires.

La seconde dimension de la classification de Partouche (1998) concerne l'horizon de planification considéré, court ou long. Cette distinction donne lieu à deux grandes familles de problèmes (Jacquet-Lagrange et Partouche, 1996) proches de celles de Baker (1976) :

- Les problèmes de planification sur horizon court peuvent s'articuler autour de deux axes : (1) Les problèmes de construction d'horaires de travail (ou de vacations), qui consistent à déterminer les horaires de travail quotidiens permettant de couvrir une courbe de charge à moindre coût, sur l'horizon de la journée ou de quelques jours ; (2)

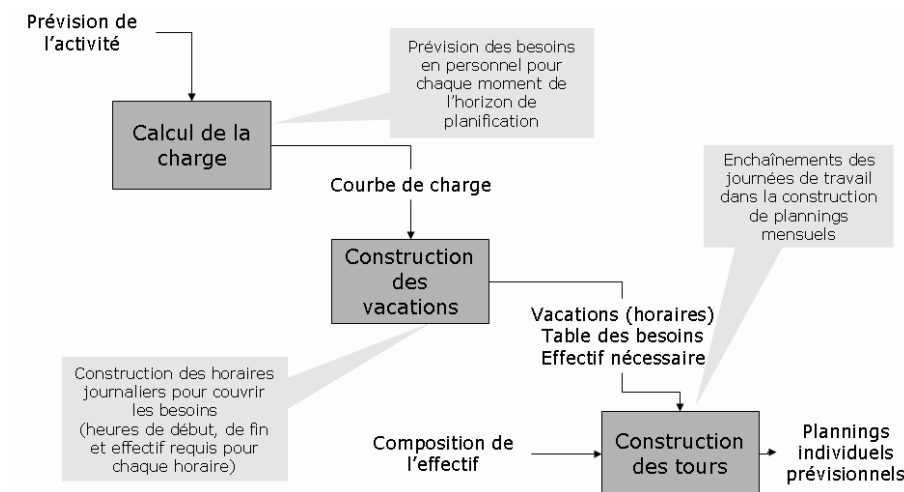


FIG. 3.7 – Décomposition des différents niveaux de décision des problèmes de planification d'horaires

les problèmes de construction de tours qui constitue une extension du premier problème au niveau de la semaine.

- Les problèmes de planification sur horizon long impliquent la construction des plannings de travail (ou de grilles), qui consistent à enchaîner des horaires de travail et des jours de repos afin de construire des emplois du temps individuels, de manière à répondre aux besoins en personnels et à satisfaire au mieux un ensemble de contraintes.

Pour ce qui concerne le problème de construction d'horaires de travail, la courbe de charge que l'on veut couvrir exprime, pour chaque période de l'horizon considéré, le nombre d'agents requis pour répondre à une demande. La résolution d'un tel problème doit aboutir à la définition d'horaires de travail, comprenant les heures de début et la durée du travail (avec éventuellement les heures de début et de fin de pauses) ainsi que l'effectif requis pour chacun de ces horaires. A partir des horaires et besoins en personnels définis dans le problème précédent, le problème de construction des plannings de travail consiste à rechercher le meilleur ordonnancement des horaires de travail et des jours de repos pour chaque agent. Le processus de planification des horaires débute par la prévision de la charge, se poursuit par la génération des horaires de travail et termine par la construction des plannings individuels (figure 3.7).

Dans le domaine des services, les problèmes de planification d'horaires ont été principalement étudiés pour des organisations assurant une activité continue ou semi-continue, comme les compagnies aériennes, les services aéroportuaires, les services de police ou les hôpitaux. On peut distinguer trois classes de problèmes dans le secteur des services qui conditionnent les problèmes de planification à résoudre : la planification du personnel fixe (tâches courtes ou sécables), celle du personnel mobile sur une journée (déplacement d'une durée inférieure à la journée), et celle du personnel mobile avec découché (tâche à effectuée sur plusieurs jours). C'est dans la première catégorie de problèmes que se situe la planification des personnels hospitaliers.

Le deux premiers niveaux de la classification de Tien et Kamiyama (1982), traitent des problèmes à long terme, alors que les trois derniers abordent des problèmes à plus court terme. Une sixième étape peut être ajoutée à cette approche classique dont la finalité est de construire un planning en affectant les salariés à des vacations. Il s'agit de générer, à partir de plannings existants, un planning modifié qui réponde aux aléas survenus après l'élaboration du planning initial. Ces aléas peuvent être dus par exemple à l'absence de personnel non prévue,

au retard pris sur activité ou à l'arrivée d'une activité non prévue. Dans le domaine hospitalier dans lequel une forte part d'incertitude est présente, cette réactivité face aux imprévus est d'autant plus importante et doit permettre de répondre en peu de temps tout en garantissant une qualité égale au planning initial. Certains des travaux récents que nous présentons ont abordé ce problème de modification des emplois du temps (Drezet, 2005; Moz et Pato, 2007).

Dans la littérature, les problèmes de planification du travail des employés ont été très largement abordés, qu'il s'agisse des problèmes de planification d'horaires d'opérateurs en production ou dans les services. Plusieurs états de l'art ont été publiés sur le sujet. Nous pouvons citer ceux qui semblent être les plus récents et les plus complets :

- Ernst *et al.* (2004a,b) regroupent près de 700 références proposant des algorithmes de génération de plannings de personnel, et classent les papiers en fonction du problème traité, de l'application couverte et des méthodes employées ;
- Alfares (2004) donne une classification et une comparaison des approches de planification des tours (enchaînement jours de travail jours de repos) ;
- Burke *et al.* (2004) s'intéressent aux différents problèmes de planification des infirmiers et classent les différentes approches proposées selon les contraintes et les paramètres qu'elles considèrent ;
- Cheang *et al.* (2003) présentent un panorama des modèles et méthodes traitant du problème de planification des infirmiers.

Nous explorons les différents problèmes évoqués au 3.3.2, en reprenant la terminologie donnée par Partouche (1998) : la construction de vacations et la construction de programmes de travail. Pour chaque problème nous tâchons d'explicitier ses caractéristiques ainsi que les différentes approches rencontrées dans la littérature pour leur résolution, qu'elles traitent spécifiquement des problèmes rencontrés dans les hôpitaux (planification des infirmiers) ou non.

3.3.3 Problèmes de construction de vacations

Caractérisation du problème

Le Problème de Construction de Vacations (PCV) consiste communément à déterminer les horaires de travail quotidiens permettant de couvrir une courbe de charge à moindre coût. Le problème est de trouver un ensemble de vacations, de durée souvent variable, qui satisfasse les besoins en personnel (couverture de la charge) et qui respecte les réglementations du travail (amplitude de travail maximum, effectif minimum par vacation, etc.). La résolution d'un tel problème doit aboutir à la définition d'horaires de travail, avec les heures de début et la durée du travail (avec éventuellement les heures de début et de fin de pauses) ainsi que l'effectif requis pour chacun de ces horaires.

Nous avons déjà donné (voir 3.3.1) la définition d'une vacation : elle est caractérisée par une heure de début, une durée, ainsi que d'éventuelles pauses. Ces pauses peuvent être placées dans une fenêtre de pause (entre 12 :00 et 14 :00 par exemple) ou bien être positionnées selon des règles de placement de pauses (par exemple au moins trois heures de travail doivent être réalisés avant la pause et une heure après la pause).

La courbe de charge devant être couverte par la construction des vacations traduit une demande de service qui est exprimée par un nombre de personnes requis par intervalle de temps. L'élaboration de cet courbe de charge est abordée par la première phase de la classifi-

cation de Tien et Kamiyama (1982). Cette prévision de la demande sur la journée est souvent omise des approches proposées qui considèrent une courbe de charge connue, et tentent de la couvrir sans autoriser de sous-effectif par rapport aux besoins. Or cette courbe est souvent construite à l'aide de méthodes statistiques et probabilistes qui permettent de prévoir les tâches à exécuter, mais qui ne garantissent pas que la solution couvrant parfaitement cette courbe au moindre coût atteint le meilleur rapport qualité de service/coût. La demande dans une unité de soins ou dans un bloc opératoire présente une nature stochastique (observable dans d'autres domaines d'application) qui selon nous ne peut difficilement être négligée. Nous proposons dans le chapitre 4 une méthode pour déterminer cette demande prévisionnelle.

Le PCV a été largement abordé dans la littérature. Différentes méthodes ont été proposées, parmi lesquels on peut citer : la programmation linéaire, la programmation par contrainte ou encore la recherche locale (méthode Tabou). Les approches proposées sont soit des approches par couverture, soit des approches implicites. Le choix des vacations retenues peut se faire : (1) soit parmi un ensemble pré-défini de vacations candidates et on parle alors d'approches explicites ou approches par couverture ; (2) soit être construit au fur et à mesure de la résolution, dans le cas des approches implicites.

Les approches par couverture

Les approches par couvertures sont basées sur la formulation du problème de construction de vacations par un modèle de couverture d'ensemble généralisé (*Generalized Set Covering Problem GSCP*). Il s'agit d'abord d'élaborer la liste de vacations candidates qui intègrent des contraintes de durée de vacation, d'heure de début et de placement des pauses. La sélection des vacations retenues dans la solution peut se faire en résolvant au départ une première fois le problème relaxé de contraintes d'intégrité, ou bien en procédant à la sélection des vacations une à une en suivant une heuristique de construction itérative (Bechtold et Jacobs, 1991).

La majorité des approches proposées dans la littérature pour la résolution du PCV reposent sur la première formulation du problème par un modèle de couverture d'ensemble donnée par Dantzig (1954), qui cherche à couvrir une charge en minimisant le nombre de vacations. Depuis, le modèle de Dantzig, ne considérant que des vacations de durée et de coût identique, a été enrichi notamment par des aspects de coûts liés aux vacations. Sa version la plus commune est la suivante :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_{i=1}^N c_i X_i \quad (3.1)$$

Soumis aux contraintes :

$$\sum_{i=1}^N a_{ij} X_i \leq b_j \quad \forall j = 1, \dots, H \quad (3.2)$$

où :

- N = le nombre de vacances candidates ;
- H = le nombre de périodes comprises dans l'horizon de planification ;
- c_i = le coût de la vacation i ;
- a_{ij} = un paramètre binaire définissant la couverture de l'horizon par la vacation i : égal à 1 si la vacation i couvre la période j , égal à 0 sinon ;
- b_j = le nombre d'employés requis pour la période j ;
- X_i = une variable définissant le nombre d'employés affectés à la vacation i . Cette variable est entière positive.

Ayant remarqué, après une série de test, que les solutions sont souvent entières, la méthode proposée par Dantzig, dans le cas de vacances ayant même durée et même coût ($c_i = c_{i'}, \forall \{i, i'\} \in \{1, \dots, N\}$), est de résoudre dans un premier temps le problème linéaire relaxé de sa contrainte d'intégrité. Une heuristique d'arrondi de la solution obtenue est proposée afin de satisfaire la contrainte d'intégrité des variables.

Henderson et Berry (1976) proposent d'améliorer la solution de Dantzig en évaluant plusieurs méthodes heuristiques de génération de sous-ensembles de vacances puis de résolution des sous-problèmes associés à ces sous-ensemble :

- Pour la génération des sous-ensembles, les auteurs proposent deux méthodes heuristiques : la première scrute les vacances et choisit à chaque itération celle qui couvre le plus de périodes encore non couvertes, la seconde choisit les vacances aléatoirement.
- Pour la résolution du sous-problème (choix des vacances parmi le sous-ensemble), trois méthodes sont proposées : la première est celle utilisée par Dantzig avec un arrondissement à l'entier supérieur, tout en essayant de supprimer un agent pour chaque vacation sans altérer la couverture ; la seconde utilise le résultat de la première et tente de remplacer deux vacances par une troisième ; la troisième méthode est identique à la seconde, sauf qu'elle part d'une solution obtenue aléatoirement.

Les auteurs montrent que, même en générant des sous-ensembles limités en taille comparé à l'ensemble initial de vacances, les méthodes heuristiques donnent un résultat proche de l'optimum théorique. Les résultats sont meilleurs si la solution de départ est celle obtenue par la résolution du problème relaxé plutôt que si elle est choisie au hasard.

Morris et Showalter (1983) proposent des modèles simples pour résoudre des problèmes de planification de personnels, dont la construction des vacances. Pour ce problème, leur approche consiste à ajouter une étape préliminaire à l'algorithme de séparation et évaluation, en résolvant en premier lieu le problème relaxé enrichi d'une contrainte additionnelle sur la valeur de l'objectif. Cette valeur est bornée par la valeur de l'objectif du problème relaxé arrondie à l'entier supérieur. Ils montrent que cette contrainte relativement faible permet dans certains cas d'obtenir une solution entière. L'efficacité de leur approche n'est pas certaine si l'on cherche à minimiser le coût des vacances et non le nombre de vacances, comme c'est le cas.

D'autres méthodes non plus basées sur la résolution préalable du problème relaxé, mais sur des heuristiques de construction itératives ont été proposées par (Buffa *et al.*, 1976; McGinnis *et al.*, 1978). Le principe de ces heuristiques est de faire entrer une à une les vacances dans la solution en se basant sur le calcul d'un indice d'augmentation pour le choix de la vacation à intégrer.

Bechtold et Jacobs (1991) dans une étude comparative de la performance des deux types d'approches montrent que les méthodes résolvant en premier lieu le problème linéaire relaxé sont statistiquement supérieures aux méthodes faisant appel à des heuristiques de construction itératives.

Le modèle de couverture d'ensemble de Dantzig en tant que programme linéaire en nombre entier (PLNE) n'est exploitable que dans le cas d'un nombre de vacations limité, une variable entière modélisant l'effectif requis étant associées à chaque vacation candidate. Si l'on augmente la finesse du découpage de l'horizon, le nombre de vacations envisageables augmente également rendant de moins en moins applicable l'utilisation de la programmation linéaire en nombres entiers pour la résolution du PCV formulé comme un modèle de couverture. Ainsi des formulations plus récentes ont été élaborées tentant de réduire le nombre de variables entières à considérer, dans lesquels les vacations candidates sont représentées de manière implicite.

Les approches implicites

Les approches implicites ne comprennent qu'une étape de construction des vacations qui composent la solution, sans les avoir préalablement listées. Ce type de formulation permet de réduire le nombre de variables entières, qui ne correspondent plus à l'effectif requis par chaque vacation candidate, mais qui représentent désormais les heures de début et de fin, les durées et les placements des pauses des vacations construites.

Dans les approches implicites, on dispose d'une bibliothèque de type de vacations, chaque type étant caractérisé par une fenêtre d'heure de début, une fenêtre de durée, ainsi qu'un principe de placement des pauses (nombre d'heure de travail avant et après la pause, ou bien fenêtre de pause). Les approches proposées varient si l'on considère des vacations avec ou sans pauses.

Moondra (1976) est le premier à introduire l'utilisation originale des variables pour modéliser le début et la fin des vacations. Il propose une formulation du problème comme un programme linéaire dont les variables correspondent au nombre d'agents commençant et terminant à chaque période, et qui respecte des contraintes de durée de vacations minimale et maximale.

Bechtold et Jacobs (1990) s'attaquent au problème des pauses pouvant démarrer à des intervalles différents. Leur approche est qualifiée de partiellement implicite puisque les types de vacations (caractérisés par une durée, une période de début, et une fenêtre de début de pause) sont explicités, mais le placement d'une pause dans chaque vacation est modélisé de manière implicite. Ils supposent la non existence d'imbrication d'une fenêtre de pause d'un type de vacation dans celle d'une autre type. En présentant une comparaison de leur approche implicite et de l'approche par couverture sur 40 problèmes testés, les auteurs observent la plus grande efficacité de leur approche pour résoudre l'ensemble des problèmes et le fait que l'approche par couverture sature au-delà de 200 variables.

Thompson (1995) exploite la modélisation implicite des vacations de (Moondra, 1976) et la modélisation implicite des pauses de (Bechtold et Jacobs, 1990) pour traiter des problèmes d'un très haut niveau de flexibilité (résolution d'un problème de plus de 15000 vacations candidates), tout en garantissant l'obtention d'une solution optimale.

Un autre modèle proposé par Aykin (1996) traite de l'intégration d'une pause supplémentaire, située avant et/ou après la pause-repas principale considérée par les autres auteurs. Cette approche a été comparée à celle de (Bechtold et Jacobs, 1990) dans (Aykin, 2001). Au niveau des critères de temps d'obtention et de fiabilité du modèle, l'approche d'Aykin fournit de meilleurs résultats que celle de Bechtold et Jacobs.

Une autre approche implicite proposée par Musliu *et al.* (2004) consiste à déterminer un ensemble de vacations, parmi des types de vacations pré-définis, en utilisant la recherche locale

(exploration du voisinage par la méthode tabou). Le problème résolu est appelé *Shift design* par les auteurs et l'horizon de planification peut être de plusieurs semaines (en ce sens il se rapproche du problème de construction de tours). Les auteurs considèrent un besoin en effectif sur un horizon donné exprimé à l'aide d'une courbe de charge, ainsi que des contraintes au niveau des heures de début et des durées des vacations possibles. Une autre donnée également prise en compte est la limite supérieure du nombre moyen de vacations hebdomadaires autorisées par employé. Le but est donc de générer des solutions qui contiennent les caractéristiques des vacations (début, durée et nombre d'employés requis) et qui minimisent plusieurs critères :

- le nombre de vacations distinctes, afin de limiter la variation d'activité des employés d'un jour sur l'autre et de favoriser la création d'équipes de travail présentes durant les mêmes périodes ;
- le surplus et le manque de personnel sur l'ensemble des périodes de l'horizon considéré, car dans cette modélisation, la couverture exacte de la charge n'est pas une contrainte mais un objectif recherché,
- la variation du nombre de vacations entre les semaines, lorsque l'horizon couvre plusieurs semaines.

Après génération d'une solution initiale, la recherche se fait par exploration du voisinage construit à l'aide de mouvements. Au sein du voisinage de cette solution, un voisin est choisi à l'aide de critères de choix, et la solution initiale est inscrite sur une liste tabou. Les mouvements sont les suivants : changer l'effectif, changer la durée, changer le début, créer une nouvelles vacation, supprimer une vacation existante. Des mouvements composés peuvent être également utilisés.

Jacquet-Lagrèze *et al.* (1997) présentent un modèle implicite proche de celui de Moondra, utilisant des variables de début et de fin de vacations, permettant de ne pas avoir à énumérer l'ensemble des vacations candidates. Dans ce modèle, chaque vacation correspond au travail d'un agent (il n'y a pas de variable d'effectif par vacation). Les pauses sont supposées de durée identique et sont représentées par une variable correspondant à l'heure de début de la pause. D'autres variables, dites techniques, sont nécessaires afin d'exprimer l'existence ou la non existence d'une vacation dans la solution. L'ensemble des vacations de la solution doivent couvrir la charge et chercher à minimiser la somme des excédents (surplus de personnel par période). Cette approche a été résolue par les techniques de programmation par contraintes (PPC).

Partouche (1998) dans sa thèse teste l'efficacité de la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) et de la programmation par contraintes (PPC) pour la résolution du problème de construction de vacations (PVC), ainsi que la performance des deux approches envisageables : l'approche par couverture et l'approche implicite. Les techniques ont été expérimentées sur deux tailles de problèmes avec un horizon découpé en 10 et en 48 périodes. Pour l'approche par couverture, la PLNE a montré sa supériorité, au niveau du temps de résolution mais aussi de l'obtention de la solution optimale. La PPC appliquée à cette approche donne une première solution en un temps supérieur, et n'est pas capable de garantir l'optimalité de cette solution. La PLNE étant déjà très performante pour résoudre le PCV par l'approche par couverture, seule la PPC a été testée pour l'approche implicite. Les résultats sont acceptables, mais de moins bonne qualité que ceux fournis par l'approche par couverture en utilisant la PLNE. L'auteur conclut donc que seule la résolution d'un modèle de couverture par PLNE semble adapté au PCV, et tente d'expliquer de manière théorique les bonnes performances de la PLNE.

3.3.4 Problèmes de construction de plannings

La littérature est plus qu'abondante sur le sujet de la construction des plannings d'employés. L'une des preuves de cette affirmation est le récent état de l'art de Ernst *et al.* (2004b) qui regroupe environ 700 références traitant de ce problème. La revue de la littérature qui suit se contente d'évoquer les principaux travaux liés aux problèmes de planification des infirmiers et des médecins qui nous intéressent dans les chapitres 5 et 6. Pour une revue de littérature complète couvrant tous les domaines d'application, nous renvoyons le lecteur à (Ernst *et al.*, 2004b). Dans cette section nous avons choisi de présenter les différentes approches proposées en les classant par type de résolution abordé. Chacune des méthodes peut couvrir un ou plusieurs problèmes de la classification définie par Tien et Kamiyama (1982) : le positionnement des jours de repos, l'affectation des vacations et la construction de tours qui traite conjointement des deux précédents problèmes.

Les caractéristiques du problème

Le problème de construction des plannings (PCP) consiste à déterminer les horaires de travail et les jours de repos des employés sur un horizon de planification, en respectant un ensemble de contraintes.

Dans beaucoup d'approches des hypothèses sont posées. Tout d'abord la charge à couvrir est supposée connue. Elle se présente sous la forme d'une **table des besoins**, qui correspond à l'effectif requis pour chaque vacation et chaque jour de l'horizon considéré. Une autre hypothèse, qui n'est pourtant pas toujours faite, porte sur le fait que l'**effectif** du personnel dont on cherche à déterminer le planning est **fixé**. La recherche de solutions se fait alors sans tenir compte du critère de coût (figure 3.6), puisqu'on ne joue pas sur le nombre d'employés à intégrer dans le planning. Certaines approches permettent cependant le recours aux heures supplémentaires et aux intérimaires (Venkataraman et Brusco, 1996; Isken et Hancock, 1991; Wright *et al.*, 2006).

Deux sous-problèmes surviennent selon l'organisation rencontrée. Ils peuvent être traités conjointement ou successivement. Il s'agit du positionnement des jours de repos et de l'affectation des vacations aux employés. Dans le cas d'un service ne nécessitant qu'un type de vacation (horaire 8 :00 - 16 :00) et en fonctionnement 7 jours sur 7, seul le problème de positionnement des jours de repos est à considérer. Dans le cas d'un service fonctionnant sur une amplitude journalière supérieure à la durée d'une vacation, le problème d'affectation des vacations devra être résolu. La plupart des problèmes de planification des personnels dans les hôpitaux comportent les deux aspects, puisqu'ils impliquent une charge étendue sur tous les jours de la semaine (travail 7 jours sur 7) et continue sur la journée (plusieurs types de vacations couvre l'ensemble des heures de la journée).

La construction des tours doit respecter un certain nombre de contraintes, qui peuvent varier d'un problème à l'autre, mais qui généralement peuvent être classées parmi ces catégories :

- *Les contraintes de couverture :*

La charge de travail, représentée par une table des besoins doit être couverte.

- *Les contraintes liées à la réglementation du travail :*

Ces contraintes légales extraites du code du travail en vigueur en 2005 (Drezet, 2005) imposent, entre autres, une limite supérieure au temps de travail journalier, une durée

minimale de repos entre deux journées travaillées, un nombre d'heures de travail maximum (ou un nombre de jours travaillés maximum) sur une période donnée (généralement la semaine, voire le mois ou l'année), etc.

– *Les contraintes liées au positionnement des repos :*

Outre la contrainte imposant une durée de repos minimum par jour, on cherche à respecter plusieurs contraintes liées aux repos. Selon la politique de repos adoptée par l'organisation, les jours de repos peuvent être imposés sur différents horizons. Par exemple une politique de repos peut être la suivante : « Deux jours de repos consécutifs toutes les semaines, pas plus de quatre jours travaillés consécutifs et un week-end de repos tous les mois » ou encore « quatre jours de repos sur un horizon de 14 jours, dont deux repos consécutifs ». Les politiques de repos indiquent le nombre de jours de repos à accorder par horizon, leur positionnement par rapport aux week-end, ainsi que leur positionnement entre eux (couples de repos ou repos isolés) et par rapport aux jours travaillés (longueur maximum pour les séquences de travail avant un repos).

– *Les contraintes liées au changement de vacances :*

Lorsqu'il s'agit d'un problème multi-vacation, certains enchaînements de vacances peuvent être interdits s'ils ne respectent pas la contrainte de repos journalier. Plutôt que de borner le nombre d'heures de repos par jour, il est plus pratique d'interdire certains changements de vacances violant cette contrainte. Un exemple typique de cette contrainte est d'interdire d'affecter une vacation de matin après une vacation de nuit, ou encore d'imposer un repos après une nuit de travail.

Parmi ces contraintes certaines sont à respecter strictement, alors que d'autres sont à respecter « autant que possible ». On distingue alors les **contraintes obligatoires** ou rigides (*hard constraints*) qui sont dictées par la réglementation et qu'il est impératif de satisfaire, des **contraintes souples** ou flexibles (*soft constraints*) issues le plus souvent des conventions d'entreprise et qu'on cherchera à satisfaire dans la mesure du possible. Les contraintes de respect de la charge, de la réglementation du travail, de durée des repos sont des contraintes obligatoires. Généralement les contraintes portant sur les positionnements des repos sont considérées comme des contraintes souples, bien que cela puisse varier d'une organisation à l'autre. La prise en compte des préférences personnelles et des desideratas des individus (choix d'un jour de repos ou d'une affectation) constitue également une contrainte souple.

D'après Blöchliger (2004), qui propose un tutoriel pour la modélisation des problèmes de planification du personnel, la fonction objectif d'un modèle peut chercher à minimiser le coût (salaires, heures supplémentaires, etc.), maximiser la qualité du service (couverture de la charge) ou bien maximiser la satisfaction des employés (minimisation des contraintes violées, maximisation de l'équité entre les individus).

Dans l'ensemble des travaux s'intéressant au problème de construction des plannings et plus particulièrement des plannings infirmiers, nous avons observé que chacune des approches considère un problème qui diffère soit par le type d'organisation étudié, soit par les contraintes à respecter ou par l'objectif recherché. Ainsi chacune des approches traite d'un problème bien particulier, bien que certaines se rapprochent. Nous avons distingué les travaux de la littérature par type de technique utilisée pour la résolution du problème, à savoir les approches basées sur : la programmation linéaire (PL), la programmation multi-objectif, la programmation par contraintes (PPC), les heuristiques, les méthodes stochastiques (métaheuristiques) et les systèmes experts, certaines approches combinant plusieurs de ces méthodes.

Les approches PL

La construction des plannings de travail ou de tours, c'est-à-dire l'enchaînement des jours de travail et des jours de repos, en spécifiant les horaires de travail, peut être formulée comme un problème de couverture d'ensembles, formulation présentée précédemment (voir 3.3.3) pour le problème de construction des vacations. L'approche de Dantzig est applicable, avec pour seule différence que le paramètre a_{ij} représente désormais la couverture du tour i sur la période j . La finesse de découpage de l'horizon est souvent limitée à la journée, chaque période j représentant une journée de l'horizon. Avant la résolution d'un tel problème, les schémas de travail (tours) correspondant à une succession de jours de travail et de jours de repos, sont énumérés et caractérisés par la matrice construite avec les paramètres a_{ij} .

La méthode de Warner (1976) est parmi les premières à s'intéresser aux plannings non cycliques. Le but recherché est de produire des plannings de bonne qualité et de réduire les ressources nécessaires pour leur génération. L'approche aborde le problème d'affectation des vacations (Matin, Soir, Nuit) sur un horizon de 14 jours, en introduisant des poids associés aux contraintes ainsi que l'expression de préférences des infirmiers à l'aide de points. Une part de la planification est assurée par une opération manuelle avant que l'optimisation soit lancée : il s'agit de l'affectation des week-ends et de la détermination des infirmiers qui font partie de la même rotation. Les auteurs proposent une résolution du problème, basée sur la programmation mathématique, en deux étapes : (1) recherche d'une première solution réalisable ; (2) amélioration de la fonction objectif en pivotant quelques blocs correspondant aux schémas de travail possibles. Warner (1976) est l'un des premiers à évaluer les plannings sur un autre critère que le coût et la couverture de charge, portant une attention particulière sur la satisfaction du personnel.

Jaumard *et al.* (1998) proposent une approche exacte permettant d'aborder un problème réel de planification d'infirmiers incluant un certain degré de flexibilité. Les auteurs présentent un modèle mathématique sous forme de programme linéaire en nombres entiers composé de deux problèmes hiérarchisés. Le premier est le problème principal d'allocation des infirmiers, dont l'objectif est de déterminer la configuration des plannings individuels qui minimise le coût des salariés et maximise la satisfaction des infirmiers (respect des préférences personnelles, équité des plannings), tout en respectant strictement les contraintes de charge (qualité de service). Ce problème est présenté comme un modèle de génération de colonnes généralisé à variables binaires, et il est résolu à l'aide d'une méthode de séparation et évaluation spécifiquement développée par les auteurs (*Branch and Price*). Le second problème (problème auxiliaire) est celui de la détermination des plannings individuels acceptables satisfaisant les contraintes collectives liées à la charge de travail, aux rotations, aux jours de repos. Le problème auxiliaire est représenté comme un problème de plus court chemin sous contraintes de ressources. Pour sa résolution, les auteurs proposent un algorithme pseudo-polynômial.

Moz et Pato (2004) se sont intéressés au problème de replanification des infirmiers. Tandis que d'autres auteurs font appel à des infirmiers polyvalents partagés entre plusieurs services (float nurses) qu'il affectent pour combler les manques, Moz et Pato tentent de rechercher une réponse en opérant des remplacements au sein d'une même unité, pratique appliquée dans un hôpital réel. L'objectif recherché est de minimiser les différences entre le planning original et le planning généré, afin de perturber le moins possible les infirmiers. Plusieurs formulations en programmation linéaire en nombres entiers sont proposées. Les modèles prennent en compte les contraintes obligatoires, alors que les contraintes souples ne sont pas intégrées. Les auteurs ont récemment proposé une nouvelle approche basée sur les algorithmes génétiques pour résoudre ce même problème (Moz et Pato, 2007).

Les approches multi-objectif

Les approches multi-objectif, et notamment la programmation par objectif (*Goal Programming*) ont pour but d'optimiser simultanément plusieurs fonctions objectif selon des poids données à chaque critère traduisant des priorités, contrairement aux techniques traditionnelles de programmation linéaire qui visent à optimiser une seule fonction objectif. La prise en compte de ces objectifs multiples semble se rapprocher des problèmes rencontrés dans la réalité, les acteurs de terrain ne considérant rarement qu'un seul critère pour évaluer la qualité d'un planning.

Arthur et Ravindran (1981) proposent une méthode basée sur la programmation par objectifs pour la résolution du problème de planification des infirmiers. Les objectifs que les auteurs cherchent à optimiser sont exprimés en termes de niveau de couverture minimal requis, de niveau de couverture désiré, de préférences individuelles des infirmiers et de requêtes spécifiques. La méthode est appliquée à un problème dans lequel trois types d'infirmiers sont considérés et doivent être affectés à trois types de vacations. Les auteurs utilisent tout d'abord une programmation linéaire en nombres entiers pour résoudre le problème multi-objectif d'affectation des jours de travail et de repos de chaque infirmier sur un horizon de deux semaines, puis s'attaquent à l'affectation des vacations aux infirmiers par le biais d'une heuristique.

Ozkarahan et Bailey (1988) ont également abordé le problème de construction de plannings par l'utilisation de la programmation par objectifs. Ils définissent trois fonctions objectifs : (1) minimiser l'écart entre le personnel requis et le personnel réellement affecté (manque de personnel ou sureffectif) sur la période d'une journée ; (2) minimiser l'écart entre le nombre d'infirmiers affectés aux différents schémas de travail et l'effectif disponible ; (3) minimiser, pour chaque jour, la différence entre le nombre de personnes déterminé par l'objectif 2 de jours de repos et le nombre de personnes total déterminé par l'objectif 1 d'affectation des tranches horaires. Pour réduire le temps de recherche de solutions, les auteurs proposent de diviser le calcul en deux phases : la première détermine les plannings individuels des jours et horaires travaillés, la seconde affecte ces plannings aux infirmiers. L'affectation des plannings est réalisée à l'aide d'une heuristique.

Berrada *et al.* (1996) combinent une approche multi-critère et une recherche tabou pour la résolution du problème de planification des infirmiers. Dans ce modèle les contraintes obligatoires doivent être impérativement satisfaites, tandis que le respect des contraintes souples est traité comme une liste de buts à atteindre. L'objectif global est de se rapprocher le plus possible de ces buts. Pour ce faire, des variables de manquement sont introduites dans les contraintes souples et l'objectif est de minimiser la valeur de ces variables. Deux techniques de programmation mathématique, la technique séquentielle et la technique des poids équivalents, ont été utilisées avec succès pour trouver une solution efficace. Elles présentent l'avantage d'obtenir une solution telle qu'aucun autre élément de l'espace de solutions faisables ne puisse améliorer la valeur d'un but, sans endommager celle d'un autre.

Beaulieu *et al.* (2000) montrent que le modèle et l'algorithme de Berrada *et al.* (1996) est tout aussi efficace pour résoudre le problème de planification des médecins d'un département d'urgence, tant que les contraintes sur la rotation des vacations ne sont pas incluses. Les buts recherchés par les auteurs sont d'une part l'équité dans la distribution des vacations « antagonistes » aux médecins (jour/nuit, réglé/urgence) en prenant en compte les plannings précédents, et d'autre part le respect d'un volume d'heures travaillées par médecin sur l'horizon de planification.

L'approche proposée par Azaiez et Sharif (2005) consiste à développer un modèle de

construction automatique des plannings des infirmiers qui améliore les plannings réalisés à la main d'un hôpital. En plus des contraintes classiques présentes dans la littérature, les auteurs cherchent à respecter les préférences des infirmiers ainsi que les règles fixées par l'hôpital (continuité de service, réduction du coût lié aux heures supplémentaires). Le modèle multi-objectif en variables binaires est résolu avec succès sur une période de 6 mois à l'aide du solveur LINGO (LINDO, 2003).

Les approches PPC

La programmation par propagation de contraintes (PPC) est une technique très puissante pour trouver des solutions faisables à des problèmes très contraints, tels que les problèmes de génération de plannings. Cette propriété rend les approches basées sur la PPC appropriées lorsque l'objectif est de trouver uniquement une solution qui satisfasse toutes les contraintes (problème de satisfaction de contraintes ou *constraint satisfaction problem* CSP). Néanmoins, elles seront a priori moins adaptée s'il s'agit de trouver une solution optimale parmi un grand nombre de solutions envisageables (problèmes de satisfaction de contraintes et d'optimisation ou *constraint satisfaction optimisation problem* COSP) (Cheang *et al.*, 2003; Ernst *et al.*, 2004a).

Weil *et al.* (1995) proposent de résoudre le problème de planification de personnel dans le milieu hospitalier en utilisant la programmation par contrainte. Cette technique est utilisée pour générer un planning qui respecte les contraintes définies par l'utilisateur et qui soit suffisamment flexible pour prendre en compte les requêtes individuelles. Les auteurs proposent un modèle relativement générique, et réduisent la complexité du problème en fusionnant certaines contraintes et en éliminant les valeurs interchangeables du domaine de définition des variables. Le modèle développé peut aussi bien être utilisé pour la génération initiale d'un planning, que pour la modification d'un planning suite à l'arrivée d'un événement (absences, maladie, etc.). Les travaux de Weil *et al.* (1995, 2003), Heus (1996), et Chan (2002) ont servi de base à l'élaboration de plusieurs solutions logicielles : Gymnaste (Weil *et al.*, 1994; Chan *et al.*, 1998) puis Equitime (Chan, 2002) du même nom que la société.

Abdennadher et Schlenker (1999) présentent une approche interactive d'élaboration de plannings infirmiers basée sur la PPC, qui a été implémentée dans le logiciel INTERDIP. Afin d'améliorer la complexité théorique du problème, le système est basé sur l'imitation du comportement humain pour résoudre le problème de planification d'infirmiers avec trois vacations. Sont alors résolus successivement trois sous-problèmes : la distribution des repos, la distribution des nuits, la distribution des matins et des soirs. Par ailleurs les auteurs introduisent la notion de « *patterns* » qui sont une succession d'affectations préférée par les infirmiers permettant d'affecter simultanément plusieurs jours du plannings.

Intelligence Artificielle

Depuis des années, les plannings des infirmiers sont réalisés à la main par les cadres de santé. Ainsi des milliers de plannings ont été générés et stockés dans leurs classeurs, et ont apporté aux cadres de santé une grande expérience, qui malheureusement n'est pas exploitée par les méthodes d'optimisation. En effet, on trouve dans la littérature essentiellement des méthodes qui commencent leur recherche de solutions à partir « de rien ». Le risque est alors de proposer des solutions qui ne se rapprochent pas des habitudes de travail des infirmiers et qui soient plus difficilement acceptées. Une recherche des solutions parmi celles déjà expérimentées permettrait de remédier à ce problème (Wang, 2005).

Le principe du **raisonnement basé sur les cas** ou *Case Based Reasoning* (CBR) est de tirer profit des expériences afin de résoudre un problème donné. Cette technique peut tout à fait s'appliquer à la construction de plannings d'infirmiers comme dans (Scott et Simpson, 1998). Le processus du CBR consiste à :

- formaliser les expériences précédentes et les cas réussis, et à les capitaliser dans une base de données ;
- analyser le nouveau problème rencontré ;
- trouver une solution dans la base de données, dont la description est proche de celle du nouveau problème rencontré ;
- réviser si nécessaire cette solution pour résoudre le nouveau problème ;
- une fois le problème résolu, ajouter la solution à la base donnée de capitalisation des expériences.

Dans l'approche de Scott et Simpson (1998) les modèles antérieurs du planning sont stockés dans une base de données, chaque modèle contenant pour chaque infirmier les jours travaillés, les jours de repos, et les affectations aux vacations sur un horizon d'une semaine. Le problème du planification est résolu en trouvant dans la liste des modèles, la solution dont la description du problème est la plus proche du problème rencontré. Pour la modification du planning en cas d'absences imprévues, les auteurs emploient également ce mécanisme de recherche d'une situation déjà résolue dans le passé et d'une solution déjà expérimentée.

L'application du CBR pour la planification des infirmiers comporte plusieurs avantages. Le planning résultat est similaire à celui fait manuellement, mais le temps d'élaboration de celui-ci a été réduit. L'espace de recherche est réduit par rapport à une méthode qui ne se base pas sur les expériences. Par ailleurs la méthode devient de plus en plus efficace au fur et à mesure de son utilisation, car la base de données s'enrichit de nouvelles expériences de manière incrémentale. Les contraintes obligatoires et une partie de contraintes souples sont déjà prises en compte dans les cas stockés. Cette méthode est facile à mettre en œuvre dans les services hospitaliers, car elle transforme directement les emplois du temps des infirmiers en modèles stockés dans la base de données. Le principal inconvénient réside dans la difficulté de formaliser les expériences implicites. Ainsi, dans la méthode proposée par Scott et Simpson (1998), il peut y avoir une certaine redondance des données car chaque solution capitalisée contient l'emploi du temps de tous les infirmiers. Enfin, la flexibilité pour les petits ajustements au sein des modèles est ignorée : ainsi, pour prendre en compte une demande de modification (absence, maladie, etc.), cette méthode propose de modifier le planning de toute la semaine concernée par l'absence.

Petrovic *et al.* (2003) présentent également une approche fondée sur le CBR, et sur le principe suivant : des problèmes similaires nécessitent des solutions similaires. La méthodologie proposée basée sur l'imitation de raisonnements humains, a été appliquée dans un hôpital du Royaume-Uni.

Les méthodes heuristiques

La popularité des approches heuristiques pour résoudre des problèmes de planification de personnel vient de plusieurs facteurs (Ernst *et al.*, 2004a) :

- Elles sont relativement robustes. Bien qu'elles ne garantissent pas l'obtention d'une solution optimale, elle aboutissent généralement à une bonne solution, et ce dans un temps limité.
- Elles sont assez simples à mettre en œuvre et permettent d'intégrer des informations spécifiques au problème.

- Elles facilitent la prise en compte d'objectifs complexes.

On distingue deux classes d'heuristiques : les heuristiques classiques et les métaheuristiques.

Heuristiques classiques

Dans l'approche heuristique proposée par Kostreva et Jennings (1991), le problème de planification des infirmiers est résolu en traitant deux phases successivement. Dans un premier temps, des ensembles de plannings faisables, appelés groupes de plannings, sont calculés. Chaque groupe respecte les besoins minimaux en infirmiers et chaque planning individuel inclus dans le groupe satisfait les contraintes majeures sur le temps de travail. La seconde phase, basée sur les résultats de (Kostreva et Geneviev, 1989) consiste à calculer la meilleure combinaison des plannings minimisant l'aversion basée sur les préférences individuelles des infirmiers. Les plannings sont générés indépendamment pour chaque catégorie de personnel, ce qui donne lieu à une décomposition en problèmes partiels.

Métaheuristiques

Les métaheuristiques sont des méthodes qui permettent d'aborder des problèmes difficiles d'optimisation combinatoire, qui ne peuvent pas être résolus à l'aide des méthodes exactes ou des heuristiques traditionnelles. Parmi les métaheuristiques expérimentées pour résoudre le problème de planification des infirmiers, les principales sont : le recuit simulé, la méthode tabou et les algorithmes génétiques.

Le processus du **recuit simulé** s'apparente à celui du lent refroidissement d'un solide. Une analogie a été établie entre le processus du recuit et la résolution d'un problème d'optimisation combinatoire. Elle associe l'état des particules et les solutions, ainsi que le niveau d'énergie et le coût d'une solution. Le processus du recuit simulé génère une séquence d'états qui illustre l'évolution du corps de l'état liquide à l'état solide, en observant l'équilibre thermique à chaque instant. Le prochain état est obtenu par une petite perturbation de l'état courant, générée de façon aléatoire, et ceci en considérant un critère d'acceptation. Selon la température et la différence d'énergie entre l'état courant et le nouvel état, la perturbation sera acceptée ou rejetée.

L'algorithme de recuit simulé est utilisé par Isken et Hancock (1991) dans une approche visant à résoudre un problème linéaire en nombres entiers de couverture d'ensembles, dont l'objectif est de développer des plannings pour un effectif composé de personnels permanents et intérimaires (*casual staff*), couvrant une demande spécifiée par intervalles de 30 minutes sur une période de 10 jours. Le sur- et le sous-effectif sont autorisés mais font l'objet de pénalisation. L'une des originalités de cette approche est qu'elle ne se limite pas aux trois vacations classiques Matin Soir Nuit, mais autorise des débuts de vacations variées, couvrant ainsi le problème de construction de vacations.

Brusco et Jacobs (1995) proposent une approche combinant le recuit simulé et une simple heuristique de recherche locale dont l'objectif est de générer des plannings cycliques pour des organisations assurant un service continu, telles que les hôpitaux, les télécommunications ou des entreprises de transport. Le problème est de déterminer les affectations à des vacations ainsi que les jours de congés des employés sur un horizon de planification. Deux formulations, appelées formulations continue et discontinue, sont obtenues : la première restreint les heures de travail pour chaque type de personnel (temps complet et temps partiel), tandis que la

seconde ne comporte pas ces contraintes. Comme dans (Isken et Hancock, 1991) les affectations ne sont pas limitées aux vacations classiques.

Dans un autre domaine de construction d'emploi du temps, Guinet (1995) développent une méthode heuristique, basée sur les principes du recuit simulé, pour résoudre le problème de planification de travaux indépendants sur des machines parallèles dont l'objectif est de minimiser la plus grande date d'achèvement. L'auteur applique cette méthode au problème de construction d'emplois du temps scolaires, dans lequel les jours de la semaine sont représentés par les machines et les cours à planifier par les travaux.

La recherche Tabou (*Tabu Search TS*) a été largement utilisée pour résoudre des problèmes hautement combinatoires, et notamment les problèmes de planification des infirmiers. La recherche tabou est une métaheuristique qui parcourt de façon non ordonnée le voisinage de l'espace de solutions depuis une solution initiale. On passe d'une solution à l'autre en opérant ce que l'on appelle des mouvements sur la solution courante. Afin d'éviter de revenir sur une solution déjà visitée, le système maintient une liste des solutions récentes qui sont déclarées interdites pendant un nombre fixé d'itérations, d'où le nom de Tabou. La longueur de la liste est définie selon la durée d'interdiction du changement. Son avantage principal est qu'elle évite les optimums locaux pour chercher l'optimal global. Cette technique dispose d'un mécanisme permettant de retenir une solution tabou : si la solution est « très » bonne par rapport à la solution courante, on l'accepte malgré son inscription sur la liste tabou. Pour plus d'informations sur la recherche tabou nous renvoyons le lecteur à (Glover et Laguna, 1997).

Dowland (1998) adopte une approche utilisant la recherche tabou afin de traiter le problème de planification des infirmiers d'un grand hôpital. La méthode employée permet d'osciller entre la génération de plannings faisables qui couvrent la charge et leur amélioration en termes de respect des préférences des infirmiers. L'originalité de cette approche est qu'elle autorise le passage du domaine du faisable au domaine de l'infaisable, ce que préfèrent éviter les autres approches. Cette méthode appliquée au cas d'un hôpital réel a permis de produire des plannings de bonne qualité pour le besoin particulier.

Burke *et al.* (1999) présentent une approche hybride basée sur la méthode tabou et sur des algorithmes inspirés de raisonnements « humains ». Cette approche a été implémentée dans un logiciel commercial nommé Plane, qui est utilisé dans plusieurs hôpitaux belges. Les utilisateurs peuvent notamment spécifier leurs propres vacations, les règles d'organisation du travail, les compétences ainsi que leurs capacités à être interchangeables. Des profils individuels correspondant aux préférences de travail (jours de repos, appartenance à une équipe, travail dans les mêmes horaires qu'un collègue ou inversement) de chaque infirmier peuvent être intégrés de manière à optimiser la satisfaction sociale. Dans cette approche la première solution (planning faisable) est obtenue suivant l'une des stratégies suivantes : (1) utilisation du planning actuel, lorsque des changements urgents doivent être pris en compte, afin de ne pas modifier complètement le planning des infirmiers ; (2) utilisation du planning précédent lorsque les contraintes sur la période précédente et la période actuelle sont similaires ; (3) utilisation d'un planning élaboré de manière aléatoire, qui sera ensuite amélioré par les algorithmes de recherche tabou combinant les mécanismes classiques de cette méthode avec des techniques manuelles de planification.

Valoux et Housos (2000) proposent l'utilisation de techniques d'optimisation hybrides, alliant programmation mathématique et intelligence artificielle, pour résoudre le problème de planification des infirmiers comportant trois vacations. Le principe est de construire des schémas de travail (séquence de jours de repos et de jours de travail avec spécification des vacations) pour chaque infirmiers. Les auteurs formulent un modèle approximatif (incluant

des simplifications) sous forme de programme linéaire en nombres entiers. Après sa résolution à l'aide de mécanismes de séparation et évaluation, la solution est améliorée par l'utilisation de la recherche tabou. Cette approche présente la particularité de prendre en considération certaines contraintes souvent rencontrées dans le monde réel, mais peu intégrées dans les modèles, telles que l'équilibre de répartition de la charge et des vacations entre les infirmiers, l'expression de préférences des infirmiers quant aux schémas de travail. L'objectif est de minimiser le nombre de vacations affectées à chaque infirmier sur l'horizon de planification. Un exemple d'application de cette méthode est donné sur un problème de taille correspondant à un problème réel, comprenant 16 infirmiers sur un horizon de planification de 28 jours.

En dehors du domaine hospitalier, Drezet et Tacquart (2004) proposent une approche d'adaptation des plannings des employés suite à l'occurrence d'un aléa. Les auteurs s'intéressent à la transformation d'emplois du temps prévisionnels théoriques en emplois du temps prévisionnels applicables, en suivant une approche réactive dans le cadre de la gestion de projets sous contraintes de ressources humaines. L'objectif est de trouver un planning prévisionnel applicable qui satisfasse les mêmes contraintes que le planning prévisionnel théorique ainsi que des contraintes additionnelles à intégrer, tout en minimisant le nombre de plannings modifiés, afin de préserver une bonne atmosphère de travail et une bonne productivité. Les auteurs proposent de résoudre ce problème à l'aide de la méthode tabou et de l'interfacer à la phase d'ordonnancement de projet.

Les **algorithmes génétiques** (AG), faisant également partie des métaheuristiques, ont aussi été utilisés pour la résolution des problèmes de gestion quantitative des ressources humaines en milieu hospitalier. Un AG est un algorithme de recherche locale stochastique qui emprunte le concept de sélection naturelle des espèces pour trouver les individus les plus aptes à survivre. Le principe est de trouver une représentation génétique d'un problème de telle manière que des caractéristiques puissent être héritées. Une population de solutions initiales est générée au départ au hasard, puis les meilleures solutions sont sélectionnées et recombinaisonnées dans de nouvelles solutions. Ces nouvelles solutions peuvent être formées suite à l'application d'opérateurs de mutation ou de croisement.

Aickelin et Dowsland (2004, 2000) présentent une formulation PLNE du problème de planification des infirmiers, qui est résolue à l'aide de plusieurs algorithmes évolutionnaires. Le problème qu'ils cherchent à résoudre dans (Aickelin et Dowsland, 2000) est un problème de couverture d'ensembles à choix multiples, dans le sens où les infirmiers les plus expérimentés peuvent prendre en charge les tâches des infirmiers moins qualifiés, tout en impliquant un coût supérieur. Les auteurs décomposent le problème en sous-problèmes plus faciles à résoudre : l'affectation des vacations de nuit, et celle des vacations de jours. Ils donnent notamment une bonne description de la manière de concevoir et d'implémenter un AG pour la résolution du problème de planification des infirmiers. Dans (Aickelin et Dowsland, 2004), les auteurs appliquent un algorithme génétique indirect pour résoudre le même problème, afin d'agir de manière plus efficace sur les contraintes. Le principe est d'utiliser un codage indirect des solutions, basé sur les permutations entre les infirmiers, ainsi qu'une heuristique de décodage permettant de traduire ces permutations en planning de travail. Les auteurs par le biais d'un opérateur de croisement hybride et en réduisant intelligemment l'espace de solutions arrivent à améliorer de manière significative les résultats.

Burke *et al.* (2001) développent un ensemble d'algorithmes génétiques et mimétiques. Les algorithmes mimétiques peuvent être vus comme des AG hybrides, qui combinent généralement la recherche locale et les opérateurs de croisement. Dans (Burke *et al.*, 2001), les individus subissent une amélioration avant de prendre part à la recombinaison des solutions. Même si ces algorithmes permettent d'améliorer la qualité de la solution, un temps de calcul

nécessaire élevé rend leur utilisation prohibitive lorsque des plannings doivent être construits pour une application immédiate.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un panorama des approches de modélisation et de résolution employées dans la littérature pour résoudre les différents problèmes soulevés par le regroupement de plateaux médico-techniques, qu'il s'agisse de la réingénierie des processus et des organisations, du dimensionnement des ressources matérielles, ou de la planification des ressources matérielles et humaines. Cette revue de l'état de l'art nous permet de faire les constats suivants :

- Plusieurs auteurs ont montré l'intérêt d'utiliser des méthodes de modélisation d'entreprise pour aborder la complexité des systèmes hospitaliers. Très utile pour représenter le système sous différents aspects grâce aux modèles multi-vue, elles permettent de cartographier les processus afin d'en tirer des analyses critiques. Il est difficile de savoir a priori si l'une des méthodes existantes est plus performante que les autres. La principale qualité d'une méthode doit résider dans l'appropriation des concepts et des formalismes par les acteurs de terrains. Parmi les méthodes présentées, nous avons choisi d'utiliser ARIS pour la modélisation des processus de deux des partenaires hospitaliers du programme de recherche HRP² (chapitre 4).
- Les problématiques de planification des interventions chirurgicales sur les salles opératoires font l'objet de recherches poussées récentes et actuelles par les chercheurs de la communauté scientifique du Génie Industriel. Des approches complètes et complémentaires ont été proposées pour apporter une aide à la planification des interventions sur les salles opératoires, ainsi qu'à leur ordonnancement sur les créneaux de la journée, en suivant le mode de programmation ouverte ou le mode de programmation par allocation de plages. Ceci nous encouragent à focaliser notre attention sur la planification des ressources humaines du PMT qui n'a pour l'instant pas été abordée, et qui dépend de la planification des activités du PMT.
- Les problèmes de construction de vacations et de construction de plannings des personnels, et particulièrement des infirmiers, ont attiré l'attention des chercheurs depuis plusieurs décennies. Chaque problème a suscité un large intérêt, donnant lieu à une multitude d'approches en général conçues pour résoudre un problème bien particulier, et qui souvent ne sont pas adaptées à la résolution d'autres problèmes. Notre objectif est de fournir une aide au dimensionnement et au pilotage des ressources mutualisées du PMT. Tirant parti des travaux réalisés, nous abordons, dans les prochains chapitres, différents problèmes de planification d'horaires des personnels mutualisés du PMT :
 - le problème de construction des vacations : les techniques de PLNE semblent efficaces pour appréhender ce problème par une approche explicite de couverture d'ensemble. Dans le chapitre 5 nous présentons un modèle inspiré de celui de Dantzig (1954) et abordons la question de l'obtention de la courbe de charge, souvent absente des approches de la littérature.
 - le problème de construction de plannings : parmi les approches proposées dans la littérature, nous n'avons pas trouvé de modèles existants capables de traduire les particularités de la construction de plannings pour les personnels d'anesthésie, qui sont l'une des classes de personnels les plus mutualisés du PMT. Ces problèmes possèdent certes certaines caractéristiques du problème de plannings infirmiers dit « classique » (infirmiers d'unités de soins), mais à cela s'ajoutent des contraintes liées à l'adéqua-

tion des compétences aux spécialités, à la variété des activités à prendre en charge, à la pénibilité des tâches et à la durée variable des vacations. Pour appréhender les problèmes de planification des infirmiers (chapitre 6) et des médecins (chapitre 7) anesthésistes, nous avons privilégié l'exploitation des techniques de programmation linéaire, mixte ou entière, et de programmation par contrainte, ainsi que l'utilisation de solveurs commerciaux et libres.

Dans la seconde partie du mémoire, nous développons chacun des problèmes énoncés ci-dessus.

Deuxième partie

Dimensionnement et planification des ressources humaines : modélisation et approches de résolution

Chapitre 4

Démarche globale pour la conception et le pilotage des PMT

Dans ce chapitre nous explicitons la démarche globale de modélisation, de dimensionnement et de planification des ressources mutualisées du plateau médico-technique sur laquelle se base notre contribution. L'aspect modélisation de processus et ses usages est ensuite précisé.

4.1 Préambule

Le regroupement des plateaux médico-techniques (PMT) soulève un certain nombre d'enjeux, que ce soit dans la phase de conception de nouvelles installations, ou bien dans la phase de pilotage et d'exploitation. Le dimensionnement des infrastructures et des ressources matérielles, la définition des nouvelles organisations (polyvalence, mutualisation) des salles et des personnels, la gestion des ressources au quotidien, sont autant de défis auxquels sont confrontés les décideurs (stratégiques) et les gestionnaires (tactiques, opérationnels) des plateaux médico-techniques.

Les travaux que nous allons présenter dans les chapitres suivants ont été réalisés dans le cadre du projet de recherche interdisciplinaire HRP² (Hôpitaux : Regroupement, Partage et Pilotage), associant plusieurs laboratoires et des partenaires hospitaliers de la Région Rhône-Alpes. L'objectif global du projet est de proposer des outils d'aide à la décision pour le regroupement des plateaux médico-techniques (PMT) permettant :

1. de prévoir l'activité hospitalière à long terme en fonction de différentes caractéristiques : tendances d'évolution des activités par type de séjour, par spécialité, par type d'intervention, par technique, par type de patient, etc. ;
2. de choisir, de dimensionner des ressources humaines et matérielles (nombre de brancardiers, de lits de service, de plateaux de transfert, de lits de SSPI , etc.) ;
3. de piloter les ressources mutualisées, d'évaluer des stratégies d'utilisation des ressources (optimisation du temps médical, horaires d'ouverture des services, réservation des lits, etc.), d'optimiser la circulation et la synchronisation des flux sur les zones d'échange, etc. ;

4. de concevoir le système d'information (connaissance et diffusion du dossier patient, formalisation des procédures chirurgicales, acquisition des durées opératoires, impact de la T2A , choix d'indicateurs de performance).

Notre travail s'inscrit principalement dans les objectifs 2 et 3 du projet et les chapitres qui vont suivre détaillent notre contribution à ces deux objectifs du projet. Le travail de recherche a été réalisé en collaboration avec les partenaires hospitaliers de la région : l'Hôpital de la Croix Rousse (HCR) des Hospices Civils de Lyon (HCL), le Centre Hospitalier Saint Joseph et Saint Luc (CHSJSL), le Centre Hospitalier Universitaire de Saint Etienne (CHUSE), le Centre Hospitalier de Valence (CHV) et le Centre Hospitalier Privé de la Loire (CHPL). Ces établissements ont constitué des terrains d'étude. L'expertise et la participation des acteurs ont permis d'identifier les problématiques soulevées par un projet de regroupement de PMT, dans les phases de conception, d'exploitation ou d'amélioration. Par ailleurs, les investigations au sein de ce travail de thèse et du projet sont le fruit de collaborations entre laboratoires universitaires et plus particulièrement entre doctorants. Ainsi une partie des travaux exposés dans les prochains chapitres, notamment dans le chapitre 5, est le fruit d'une démarche collaborative entre le LASPI de Roanne et le laboratoire PRISMa de Lyon.

Suite à une description de la démarche globale de conception et de pilotage du PMT (section 4.2), nous approfondirons dans ce chapitre les aspects basés sur les techniques de modélisation d'entreprise (section 4.3), tandis que nous aborderons dans les chapitres suivants les problématiques de dimensionnement (chapitre 5) et de planification (chapitres 6 et 7) des personnels du PMT.

4.2 Démarche globale

L'actigramme de la figure 4.1 retranscrit la démarche globale que nous avons suivie d'une part pour appréhender le milieu hospitalier et les particularités du plateau médico-technique regroupé, d'autre part pour apporter une aide à la conception et au pilotage du plateau médico-technique.

La première étape de la démarche consiste en la modélisation de l'existant. Elle constitue le point de départ de tout chantier lié au pilotage de systèmes existants et à la conception de nouveaux systèmes dans le cadre d'une réorganisation.

4.2.1 Modélisation de l'existant

Au chapitre 3, nous avons vu que la plupart des méthodes d'analyse et de conception de systèmes, telles que les méthodes GRAI, IDEF ou ARIS reposent sur une démarche débutant par la modélisation du système existant. La modélisation d'un système permet de représenter sa structure et son fonctionnement. Cette activité de mise à plat des pratiques permet d'atteindre plusieurs finalités, selon les objectifs fixés au préalable lors de l'initialisation du projet : meilleure compréhension du système, meilleure communication entre les acteurs, évaluation de la performance par l'intermédiaire d'indicateurs, analyse des dysfonctionnements, simulation du comportement du système (pour le dimensionnement de ressources par exemple), spécification d'applications informatiques, etc.

Dans la démarche d'analyse, la phase de modélisation est primordiale. Pour cette raison il convient de bien choisir l'outil qui sera utilisé pour réaliser cette étape. Pour appréhender dans sa globalité et dans sa complexité nous proposons de nous appuyer sur la combinaison

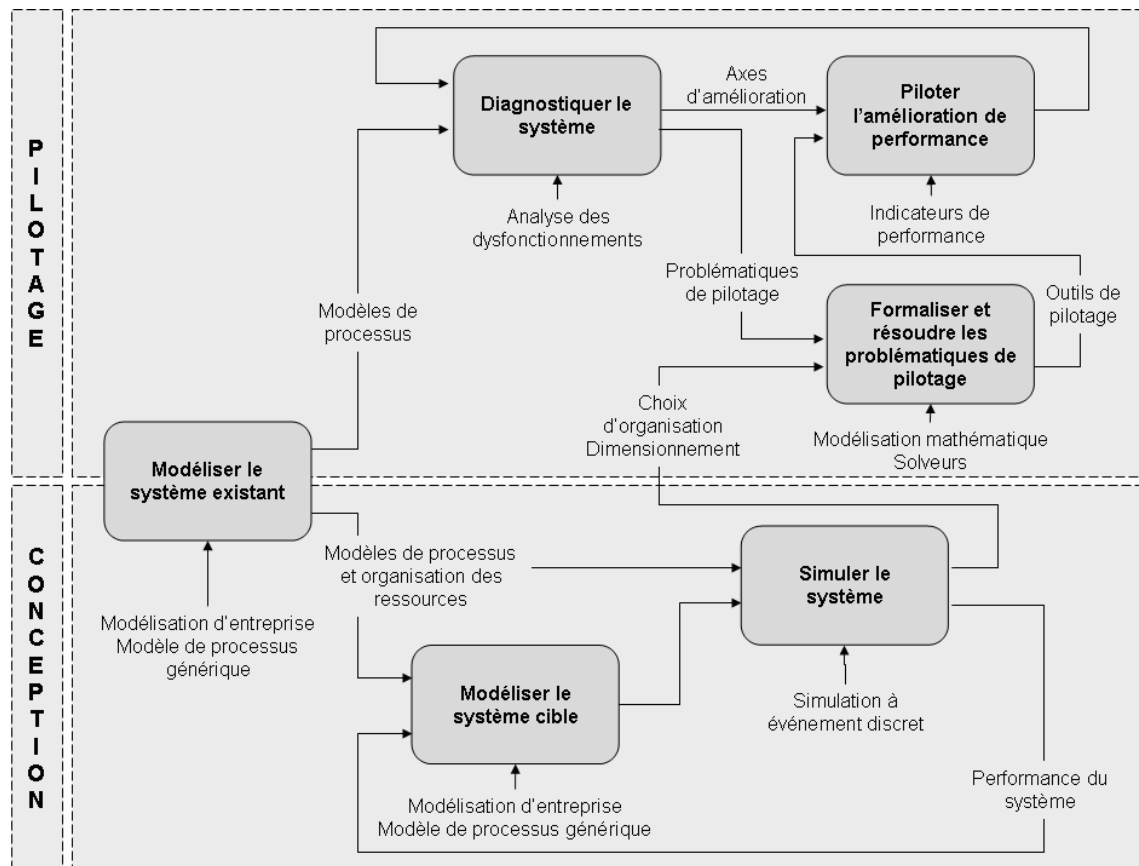


FIG. 4.1 – Démarche pour le pilotage et la conception des plateaux médico-techniques

de descriptions du système selon différents points de vue, comme le préconisent un certains nombre de méthodes de modélisation d'entreprises (Besombes *et al.*, 2004) :

- *vue processus de prise en charge du patient*, qui décrit l'ensemble des activités qui concourent à la production du soin ;
- *vue système physique*, qui décrit les ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de l'activité, c'est-à-dire à la production du soin ;
- *vue système d'information*, qui fait la synthèse de toutes les données utilisées et manipulées par les différentes activités (informations médicales, dossier patient, informations administratives, protocoles et procédures, documents qualité et traçabilité, indicateurs, etc.) ;
- *vue décisions*, qui décrit le processus de prise de décisions permettant de piloter le PMT en prenant en compte les objectifs de performance, mais également les règles et contraintes ;
- *vue organisation*, qui décrit les différents niveaux hiérarchiques et de responsabilité en prenant en compte les compétences métier.

La modélisation de l'existant aboutit à la construction de modèles qui représentent une abstraction du monde réel, alors exprimée dans un langage de représentation. Les modèles sont élaborés à partir de l'observation du fonctionnement sur le terrain, du témoignage des acteurs et par la mise en commun de leurs connaissances. La modélisation de l'existant à l'aide des méthodes de modélisation d'entreprise facilite la compréhension globale du système. Elle sert de support de communication entre les différents acteurs, et permet de capitaliser et de partager les connaissances. Dans le cadre du regroupement de plusieurs blocs opératoires au

sein d'un même plateau médico-technique, on cherche à exprimer les connaissances tacites sur le fonctionnement des différents blocs opératoires de spécialité détenues par les acteurs, et à les formaliser en connaissances explicites, comprises et partagées par tous.

Dans la phase de modélisation d'existant il s'agit également de capter les données d'activités d'un existant afin de pouvoir quantifier les flux qui sont traités par le système. Cet aspect fait appel à la collecte de données d'activités et à leur consolidation par des techniques statistiques, sur lesquels d'autres chercheurs du projet HRP² ont travaillé (Dussauchoy et Combes, 2003; Bounekkar *et al.*, 2004; Combes *et al.*, 2004).

Les modèles de l'existant sont à la base et servent de point de départ :

- dans une démarche de conception de nouvelles organisations : ils servent de point de référence pour élaborer le système cible, pour comparer les performances de l'existant et de la cible à l'aide de la simulation, et pour choisir l'organisation cible la plus efficace ;
- dans une démarche de diagnostic de l'existant et d'amélioration de la performance : le diagnostic d'une organisation permet également d'identifier les problématiques de pilotage et les besoins des décideurs en termes d'outils d'aide à la décision.

Les études des systèmes existants des différents partenaires hospitaliers du projet HRP² ont été réalisées, et plusieurs formalismes ont été testés. La section 4.3 présente les chantiers de modélisation entrepris, et plus particulièrement la modélisation de plateaux médico-techniques regroupés de deux partenaires, le Centre Hospitalier Saint Joseph et Saint Luc (CHSJSJL) et le Centre Hospitalier de Valence (CHV) (section 4.3.2).

4.2.2 Pilotage du PMT

Dans la phase de pilotage, nous considérons plusieurs actions : le diagnostic du système existant, l'amélioration de la performance du système, la formalisation et la résolution des problématiques de pilotage.

- A partir du modèle de l'existant, le **diagnostic du système** consiste à identifier les points de non-performance du fonctionnement, et ceux qui doivent pouvoir être améliorés. Les dysfonctionnements ne sont pas directement traduits par le modèle de l'existant, mais celui-ci permet de les faire ressortir en servant de support à la communication sur les processus. Les avis des acteurs peuvent alors plus facilement être confrontés et les malaises exprimés.
- Pour chaque dysfonctionnement formulé, la recherche des causes de la non-performance et l'élaboration de solutions pour pallier ces dysfonctionnements font partie de l'étape de **pilotage de l'amélioration de la performance**. A partir d'indicateurs permettant de suivre la performance du système relative à un objectif de performance à atteindre (par exemple : aucun retard d'intervention), il s'agit d'identifier les phénomènes qui agissent sur ces indicateurs et peuvent en réduire la qualité. Pour chaque cause, les variables d'action permettant d'agir sur le système et d'éliminer ces causes sont recherchées. Elles sont au cœur des solutions organisationnelles et techniques à proposer. Nous aborderons cet aspect d'amélioration de la performance dans la section 4.3.3 pour le cas du plateau médico-technique regroupé du CHSJSJL¹.
- Enfin le diagnostic de l'existant soulève un certain nombre de **problématiques de pilotage du système** pour lesquelles un outil informatique aiderait grandement les

¹Centre Hospitalier Saint Joseph et Saint Luc

gestionnaires dans leurs tâches quotidiennes. Nous avons donné un aperçu de ces problématiques dans le chapitre 2 et dans la suite de ce mémoire nous nous focaliserons sur les problématiques de pilotage des ressources humaines, à savoir la planification des infirmiers anesthésistes (chapitre 6) et la planification des médecins anesthésistes (chapitre 7). La formalisation de ces problématiques dépend également du choix d'organisation adopté par le système, décision qui résulte du couplage de la modélisation et de la simulation de scénarios. Elle est basée sur les techniques de modélisation mathématiques et d'optimisation combinatoire.

4.2.3 Conception du PMT

Dans le cadre du regroupement de plateaux médico-techniques, la phase de conception pose des problèmes de réingénierie des architectures et des organisations parmi lesquels certains retiennent particulièrement notre attention : choix architecturaux, dimensionnement des ressources, choix des organisations et des règles de gestion.

Afin de répondre à ces questionnements auxquels sont confrontés les personnes en charge de projets de regroupement, le groupe projet HRP² s'est investi dans le développement d'un outil d'aide à la décision basé sur la modélisation de processus, la simulation de flux et la recherche opérationnelle. Ce prototype d'aide au choix d'organisation et au dimensionnement des ressources humaines et matérielles du PMT sera désigné par le terme « démonstrateur » par la suite. Les ressources humaines, par leur organisation, impactant très fortement l'efficacité du PMT ainsi que son coût d'exploitation, notre effort en terme d'aide à la décision se situe plus particulièrement sur celles-ci.

Le principe du démonstrateur est de guider le décideur dans la représentation du PMT sous les aspects activités, flux et organisations, afin de procéder à la simulation de ce PMT virtuel. La simulation à capacité infinie (les capacités de certaines ressources ne sont pas fixées) permet d'évaluer les besoins pour chacune des ressources. La simulation à capacité finie permet d'évaluer les performances des choix d'organisation et du dimensionnement adopté. L'aide apporté par le démonstrateur se situe sur 5 niveaux :

- **Aide à la modélisation de flux** : Les flux à modéliser sont principalement les flux de patients. Il s'agit dans un premier temps de recueillir et de traiter les données d'activités afin de définir le volume d'activité de chaque spécialité et de chaque mode de prise en charge. Cette phase nécessite la formalisation d'une méthodologie d'extraction et de consolidation des données pour guider les utilisateurs dans une démarche robuste. Une seconde phase consiste à estimer l'activité future d'un établissement, à partir de son activité actuelle et des évolutions de l'offre et de la demande (accroissement de l'activité d'ambulatoire, démographie médicale, démographie des patients, progrès techniques, etc.).
- **Aide à la gestion des flux** : Les flux de patients doivent être injectés dans le modèle de simulation afin de procéder à la simulation de l'activité présente ou future. Les flux traités par le modèle de simulation doivent être gérés au même titre que ceux traités dans la réalité. Ainsi l'aide à la gestion des flux portent sur l'élaboration du plan directeur d'allocation des plages horaires (spécification des salles et des créneaux associés aux différentes spécialités sur la semaine), la planification des interventions dans les plages horaires (remplissage des plages horaires à partir de règles d'ordonnancement), ainsi que l'intégration d'aléas et d'incertitudes sur le parcours du patient et sur les temps opératoires.

- **Aide à la modélisation des processus** : Notre but est de fournir au décideur du plateau médico-technique un outil facilitant la conception des processus cibles à mettre en œuvre dans la structure future, en lui proposant de personnaliser un processus générique pouvant s'adapter à un grand nombre d'entités et traduisant l'ensemble des pratiques rencontrées. Le modèle générique, obtenu par la fusion des modèles de PMT de nos partenaires hospitaliers, couvre l'ensemble des processus opérants du PMT, à savoir le processus de prise en charge du patient, mais aussi les processus supports (nettoyage des locaux et des équipements, gestion des DMS, stérilisation des DMS, etc.).
- **Aide au choix d'organisations** : les choix d'organisations portent sur les caractéristiques attribuées aux salles d'interventions du PMT (polyvalence sur les spécialités et les modes de prise en charge, ou bien affectation rigide à l'un d'entre eux) ainsi que sur la définition des tâches associées à chaque type de personnel tout au long du processus de soins du patient (et des processus supports) et de manière transversale sur les spécialités et les modes de prise en charge. Notre ambition est de fournir un outil d'aide à la spécification de l'organisation des ressources du PMT, qui permette à l'utilisateur de traduire précisément toutes les spécificités de son PMT.
- **Aide au dimensionnement** : A partir de la spécification des processus, des flux, et des organisations, toutes les données sont rassemblées pour procéder à la simulation du système, avec la configuration des ressources humaines et matérielles choisie. Lors de la spécification de l'organisation, la capacité en nombres de salles d'intervention et autres salles visitées par le patient (salle d'accueil, salle de transfert, salle d'induction) est fixée, puisque cette capacité relève d'une décision architecturale située en amont du niveau de décision du démonstrateur. Les autres ressources sont considérées comme étant infinies, et vont faire l'objet d'un dimensionnement par le concours de la simulation.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, nous nous focalisons sur les ressources humaines et proposons d'exploiter les résultats de la simulation dans un premier temps pour ce type de ressources. Une simulation à capacité infinie du PMT spécifié permet d'obtenir pour chaque type de ressources humaines une courbe de charge traduisant l'occupation de cette ressource pour chaque tranche horaire de la journée. Exploitant cette courbe de charge, un modèle de construction de vacations (chapitre 3, section 3.3.3) propose, selon les spécifications de l'utilisateur, un ensemble de vacations recouvrant la charge tout en minimisant les coûts. Les vacations déterminent les horaires de travail des personnels, et permettent de connaître la courbe de présence des personnels sur la journée. Les contraintes de capacité sur les ressources humaines sont ensuite intégrées au modèle de simulation afin de procéder à la simulation du système à capacité finie. Cette seconde phase de simulation permet d'évaluer les performances du choix d'organisation et du dimensionnement, selon des indicateurs (i.e. taux de retard d'intervention, taux de dépassement, taux d'occupation des ressources, etc.) et d'ajuster la présence des effectifs sur la base de ces résultats.

La figure 4.1 montre la relation en boucle qui existe entre la modélisation du système cible et la simulation, les résultats de l'une devenant les entrées de l'autre, et réciproquement. L'organisation cible et le dimensionnement des personnels définis par ce processus de bouclage deviennent les paramètres d'entrée de l'étape de formalisation des problématiques de pilotage.

4.3 Modélisation des processus pour le pilotage et la conception du PMT

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, la modélisation est utilisée tout au long des phases de conception et de pilotage du PMT, en suivant la démarche de la figure 4.1. Dans cette section, nous présentons un retour d'expérience sur l'utilisation d'une méthode de modélisation d'entreprise pour l'étude de l'existant d'un PMT regroupé, permettant le diagnostic de l'organisation ainsi que la recherche d'amélioration de la performance (phase de pilotage). Ensuite l'apport de la modélisation d'entreprise pour la conception du système cible est discuté. Avant d'entrer dans le cœur de l'application, un rappel sur la modélisation d'entreprise et sur l'outil employé sont donnés.

4.3.1 Cadre de modélisation

La modélisation d'entreprise appliquée au regroupement des plateaux médico-techniques nous conduit à préconiser dans (Besombes *et al.*, 2004) les approches multi-vues. La représentation d'un système selon différents points de vue complémentaires, facilite la compréhension de systèmes complexes tels que le PMT. La complexité du PMT dans le cadre du regroupement vers une structure pluridisciplinaire est notamment accrue par la diversité des pratiques médicales et des activités couvertes en fonction des spécialités et la multiplicité des flux à synchroniser (flux de patients, flux d'information, de personnels, d'équipements, de médicaments, etc.) ainsi que la variété des modes de prise en charge.

La démarche de modélisation d'entreprise fait apparaître une première phase d'analyse de l'existant permettant de comprendre le fonctionnement de chaque unité, d'en analyser les performances, de mettre en évidence les dysfonctionnements, puis une deuxième phase de conception du mode de fonctionnement cible qui sera validée dans le cadre de la réorganisation du PMT.

Parmi les méthodes de modélisation d'entreprise existantes proposant une approche multi-vue, après une analyse des avantages et inconvénients de chacune (Trilling, 2003), nous avons choisi d'utiliser le cadre de modélisation ARIS, ainsi que l'outil ARIS Toolset qui lui est associé.

Les concepts de base de ARIS

IDS Sheer, l'éditeur des produits ARIS, fournit des outils intégrés de conception, mise en œuvre et contrôle des processus d'entreprise. Parmi ces outils on trouve ARIS Toolset qui est un logiciel utilisé pour la définition, la modélisation, l'analyse et l'optimisation des processus (Sheer, 2001).

Le cadre de modélisation ARIS est bâti sur une approche multi-niveaux (conceptuel, technique, implémentation) et multi-vues (fonction, information, organisation, contrôle) comme exposé sur la figure 4.2. Il se fonde sur une modélisation des processus par différents diagrammes de processus, réalisée à l'aide d'une boîte à outils. ARIS permet de représenter le système grâce à un panorama de nombreux modèles (une centaine environ) selon plusieurs vues. Bien évidemment, pour une étude, il convient de sélectionner un nombre réduit de type de modèles afin d'assurer la cohérence de la modélisation.

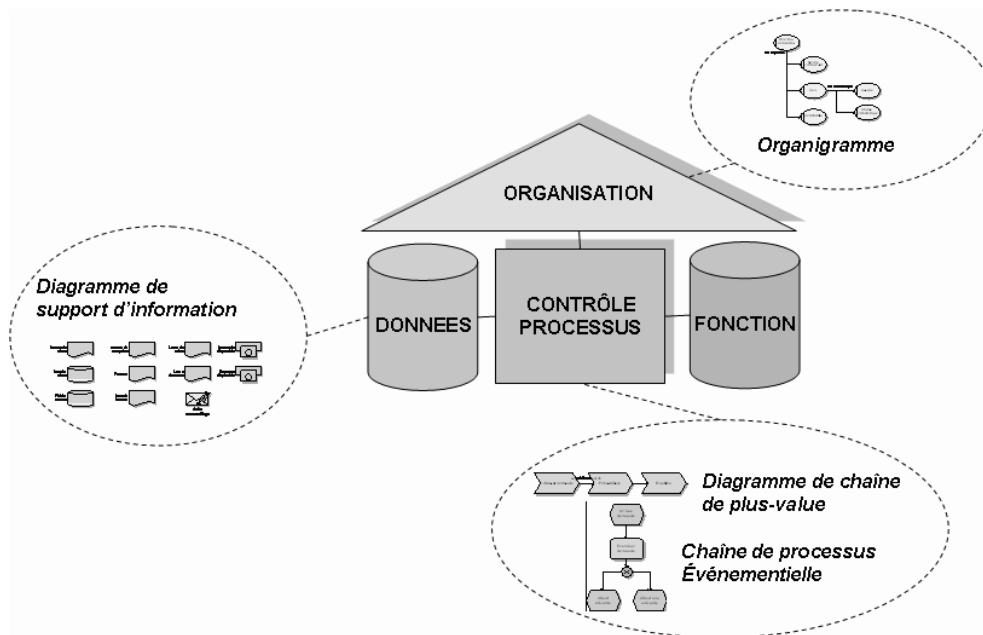


FIG. 4.2 – L'approche multi-vue ARIS : sélection des types de modèles

L'approche par processus propose de focaliser l'analyse et la réorganisation des systèmes sur les processus mis en œuvre. Un processus est un ensemble d'activités qui met en relation des structures organisationnelles transversales par rapport à l'organisation fonctionnelle et hiérarchique.

ARIS est un outil de modélisation permettant de représenter différentes vues d'une entreprise, en assurant la cohérence entre celles-ci. L'outil logiciel supportant la méthode, ARIS Toolset, est un outil facile d'utilisation, permettant de réaliser des diagrammes clairs et précis, favorisant la communication entre les utilisateurs et les responsables de l'analyse du système.

Un modèle est composé de plusieurs objets. Tous les modèles et objets sont contenus dans une base de données orientée objet. Les objets étant présents dans plusieurs modèles ne sont créés qu'une seule fois et réutilisés au cours de la modélisation. En ce sens, ARIS est bien plus qu'un simple éditeur graphique, il assure la cohérence des modèles. De nombreux rapports et analyses sont disponibles pour l'évaluation des modèles et des différents objets.

Les modèles de ARIS sélectionnés

Les modèles que nous présentons ici sont illustrés grossièrement par la figure 4.2. Des exemples de modèles sont donnés par les figures de la section 4.3.2.

Organigramme

Les structures d'organisation sont modélisées par un organigramme. Ce modèle illustre un aspect de la vue organisation de l'entreprise. Dans l'organigramme sont représentées, en fonction des critères de structuration sélectionnés, les unités organisationnelles (en tant que responsables des tâches) créées et leurs connexions. Les unités organisationnelles sont les responsables des tâches à accomplir pour atteindre les objectifs de l'entreprise.

L'organigramme est composé d'unités organisationnelles (formes ovales) et de postes de travail (formes rectangulaires). Pour une spécification plus précise des relations de subordination, différents types de liaisons existent entre les entités organisationnelles :

- De poste de travail vers unité organisationnelle : lien « est responsable de l'organisation pour ».
- D'unité organisationnelle vers poste de travail : lien « est constitué par ».
- D'unité organisationnelle vers unité organisationnelle : lien « est constitué par ».

La modélisation de l'organigramme est le point de départ de la modélisation de l'entreprise. Elle permet de déclarer tous les acteurs des processus, et de réutiliser ces objets tout au long de la modélisation.

Support d'information

Le diagramme de support d'informations est associé aux règles de gestion de la vue des données et permet de documenter les données d'entrée et de sortie consignées sous forme de documents, de classeurs, de protocoles, de fichiers. Il est utilisé pour regrouper les différents supports d'information utilisés et générés par les processus. Les objets de ce diagramme sont réutilisés dans les modèles de la vue processus ou contrôle (chaîne de processus événementielle).

Diagramme de Chaîne de Plus-value (DCP)

Le diagramme de chaînes de plus-value (DCP) permet en premier lieu de spécifier les fonctions de l'entreprise, regroupées en processus, qui sont directement impliquées dans la plus-value de celle-ci. Ces fonctions peuvent être reliées entre elles sous forme d'une suite de fonctions (processus) et forment ainsi une chaîne de plus-value. Ce modèle est utilisé pour représenter le niveau le plus haut, c'est-à-dire le plus global de la vue processus.

Le DCP est composé d'un ensemble de processus (représentés par des boîtes en forme de flèche), reliés entre eux par des relations de précédence ou de supériorité. Ces chaînes de plus value peuvent être organisées en arborescence, de manière à avoir une vue globale de la décomposition des processus. Ce que l'on appelle processus, peut également être traduit par fonction.

Chaîne de processus événementielle (CPE)

La CPE appartient à la vue processus. Elle permet de représenter les relations entre les objets des vues des données, des fonctions et des vues organisationnelles, et par conséquent de modéliser les processus.

L'enchaînement des fonctions dans le sens d'un processus d'entreprise est représenté par des chaînes de processus qui indiquent les événements déclencheurs et résultats pour chaque fonction. La désignation d'un événement doit comprendre à la fois l'objet d'information (« patient ») et le changement d'état de cet objet (« arrivé »). Comme les événements définissent l'état ou la condition qui déclenche une fonction ainsi que l'état qui en marque l'achèvement, les nœuds de départ et d'arrivée d'une telle CPE sont toujours des événements. Un événement peut déclencher plusieurs fonctions simultanément et, inversement, une fonction peut engendrer plusieurs événements. Pour pouvoir représenter ces ramifications et ces boucles de traite-

ment dans une CPE, le système utilise un connecteur (ou règle) sous forme de cercle. Celui-ci n'est cependant pas un simple connecteur graphique ; il définit également les connexions logiques entre les objets qu'il relie. Il existe trois types de règles : ET, OU, XOR (OU exclusif). Une CPE est composée d'objets tels que les fonctions, les événements, les entités organisationnelles réalisant les fonctions, les données utilisées et générées, etc.

Il existe différents types de mise en forme pour les CPE (simple, sous forme de ligne, de colonne, de table). Dans notre étude nous avons choisi la représentation des CPE sous forme de table de manière à bien identifier les différents types d'objet intervenant dans les processus et à donner une vision claire du processus et des liaisons entre les objets. Les flux échangés (flux de patient, flux de matériels, flux d'informations, etc.) sont traduits par des événements. Une CPE sous forme de table contient les informations suivantes, découpées en plusieurs colonnes, que l'on peut choisir de faire apparaître ou non, selon la pertinence des informations qu'elle contient :

- Processus : cette colonne contient la chaîne de processus composée d'un enchaînement de fonctions (forme rectangle), d'événements (forme hexagonale) et de connecteurs logiques (forme circulaire).
- Exécute : cette colonne renseigne sur les acteurs de la chaîne de processus qui sont responsables de l'exécution de la tâche. Les objets de cette colonne ont été créés lors de la modélisation de l'organigramme.
- Est utilisé par : dans cette colonne on indique les ressources matérielles qui sont utilisées pour la réalisation de la fonction.
- Est l'entrée pour : cette colonne contient les supports d'informations qui alimentent l'entrée de la fonction et qui sont utilisés pour la réalisation de celle-ci.
- A la sortie : cette colonne regroupe les supports d'informations qui sont générés par la fonction.

La chaîne de processus est découpée en relations qui permettent de créer des liaisons implicites entre les différents objets du diagramme et les fonctions, liaisons qui n'apparaissent pas sur le graphique, mais qui existent dans la base de données, qui peuvent ensuite servir dans l'analyse des modèles réalisée à l'aide de l'assistant d'évaluation ARIS.

4.3.2 Modélisation du système existant

Contexte et objectifs

Pour la phase de modélisation de l'existant, nous avons particulièrement travaillé avec deux des cinq partenaires du projet HRP² : le CHSJSJL et le CHV. Après une présentation brève de ces deux établissements et de leurs projets de regroupement, nous exposons les objectifs des études de modélisation ainsi que la méthode employée. La suite est focalisée sur l'une des deux études.

Les établissements

Le Centre hospitalier Saint Joseph Saint Luc (CHSJSJL) situé à Lyon est une structure privée à but non lucratif, participant au service public hospitalier (PSPH). Issu de la fusion de l'hôpital Saint Joseph (344 lits) et de l'hôpital Saint Luc (154 lits), l'hôpital occupe depuis début 2003, un bâtiment neuf comprenant 350 lits et regroupant les activités médicales et chirurgicales. Il traite des malades présentant des pathologies médicales, chirurgicales

ou obstétricales et possède un service d'urgences d'importance. Le plateau médico-technique de cet établissement est pluridisciplinaire, dans le sens où des interventions appartenant à différentes spécialités sont réalisées sur un même site, avec un réel partage des ressources matérielles (salles d'opération, salles d'induction, SSPI, plateaux de transfert, ...) et humaines (médecins anesthésistes, IBODE, IADE, aides soignants, brancardiers, etc.), qui sont gérées de manière centralisée.

Le Centre Hospitalier de Valence (CHV) est un établissement de santé publique disposant au total de 672 lits d'hospitalisation (dont 131 en chirurgie et 261 en médecine) et 51 places de jour (dont 30 en médecine et 10 en chirurgie). Le CHV est en cours de réalisation de plusieurs opérations de construction qui vont modifier sensiblement la situation existante. Parmi les opérations actuelles lancées, le secteur chirurgical du plateau technique fait l'objet de rénovation et de construction. Le projet est de regrouper sur un seul plateau la plupart des activités de chirurgie et d'anesthésie ainsi que les zones d'accouchement. De 3 sites sur lesquels est actuellement pratiquée l'anesthésie, on passera à un site unique d'ici fin 2006. Néanmoins, le bloc opératoire central actuel autour duquel sera regroupée toute l'activité, est déjà un plateau pluridisciplinaire partagé par la plupart des spécialités chirurgicales.

Objectif et méthode

L'objectif de nos études était double. Pour l'établissement, il s'agissait de mieux comprendre les processus se déroulant sur le plateau technique en formalisant les activités et de mener une analyse critique de la pratique observée pour dégager des axes d'amélioration du fonctionnement existant, permettant d'atteindre de meilleurs niveaux de performance. Au sein du groupe projet HRP², ces études ont permis le partage des connaissances entre les participants hospitaliers engagés dans un projet de regroupement et de faire apparaître des bonnes pratiques dans une démarche de type benchmark.

Le système de production de soins a été abordé pour chaque établissement du point de vue du patient, en identifiant les différentes étapes du processus de soins de ce dernier et en distinguant les processus opérationnels apportant de la valeur au sens de Porter (voir chapitre 1, section 1.2.2), des processus de pilotage (contrôles et décisions) et des processus de support (activités parallèles n'agissant pas directement sur le flux principal).

La démarche adoptée pour réaliser ces études a été la suivante : initialisation du projet par l'observation (recueil d'informations générales sur le système à étudier), interview des acteurs du bloc opératoire et des services en relation avec le bloc au cours de réunions de travail, choix des modèles ARIS et modélisation à l'aide de la démarche et de l'outil ARIS Toolset, puis validation des modèles par le personnel du bloc et la direction. Cet outil a été utilisé pour réaliser la phase de modélisation des processus en suivant les étapes de modélisation : de l'organisation, des informations et du système opérant puis du système de décision. Le cadre de modélisation ARIS (Sheer, 2001) propose des modèles permettant la description de plusieurs vues, parmi lesquelles nous avons choisi : la vue organisation, la vue des données, la vue processus.

Les modèles complets des deux partenaires sont retranscrits dans deux livrables du projet HRP² : (Trilling, 2004) et (Trilling, 2005). Nous donnons dans ce qui suit un aperçu d'une partie de la modélisation du PMT regroupé existant du Centre Hospitalier Saint Joseph et Saint Luc (CHSJSL), sur laquelle nous basons la démarche d'amélioration de la performance évoquée dans la section 4.3.3.

Modélisation du PMT existant du CHSJSL

Les gestionnaires du plateau médico-technique regroupé doivent mettre en place un certain nombre de règles précises pour régir son fonctionnement. La mise en place d'une nouvelle structure est l'occasion pour les responsables et les acteurs des blocs opératoires de remettre en cause leur organisation et d'envisager de nouvelles solutions plus performantes et plus satisfaisantes en termes de qualité de travail. La modélisation du processus de prise en charge du patient nous permet de suivre de manière précise le parcours du patient, ainsi que la synchronisation du processus patient avec les autres processus : programmation opératoire (processus de décision), gestion du matériel (processus support), etc.

Modélisation de l'organisation

La modélisation de l'organigramme est le point de départ de la modélisation de l'entreprise. Elle permet de clarifier les différentes relations de subordination entre les acteurs qui interviennent tout au long du processus.

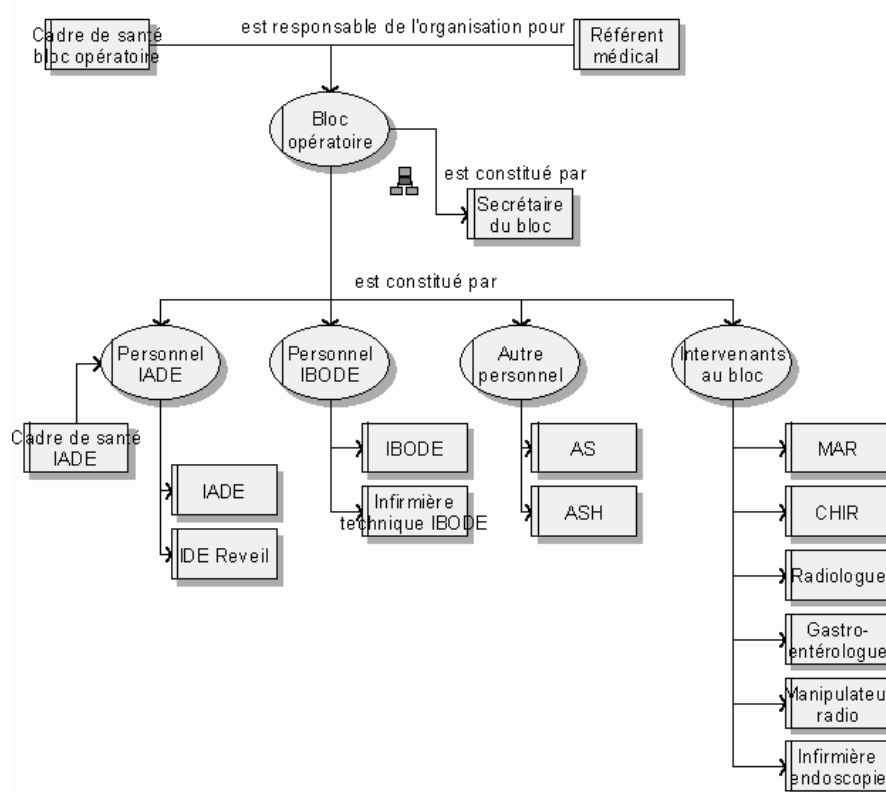


FIG. 4.3 – Organigramme du plateau médico-technique

La figure 4.3 présente l'organigramme du bloc opératoire. Le cadre de santé de bloc opératoire et le référent médical sont tous deux responsables de l'organisation du bloc opératoire. Ils sont responsables du bon déroulement des activités du bloc opératoire. Le cadre de santé IADE est responsable des IADE et des IDE de réveil, tandis que le supérieur hiérarchique du reste du personnel du bloc (IBODE, aide soignant (AS) et agent de services hospitaliers (ASH)) est le cadre de santé de bloc opératoire. Enfin, un certain nombre d'intervenants sont présents et exercent une activité dans l'enceinte du bloc. Il s'agit des médecins anesthésistes

réanimateurs (MAR), des chirurgiens (CHIR), des gastro-entérologues, des radiologues, des manipulateurs radio et des infirmiers d'endoscopie, qui font partie d'autres unités organisationnelles (service de chirurgie, service d'anesthésie réanimation, etc.).

Modélisation des informations

Après la modélisation de l'organisation, nous avons entrepris d'identifier les différents supports d'information circulant dans le bloc opératoire et entre le bloc et les autres services. Le diagramme de support d'information est associé aux règles de gestion de la vue des données et permet de documenter les données d'entrée et de sortie consignées sous forme de documents, de classeurs, de protocoles, de fichiers. Nous l'avons utilisé pour regrouper les différents supports d'information utilisés et générés par les processus. Les objets de ce diagramme sont réutilisés dans les modèles de la vue processus ou contrôle (chaîne de processus événementielle). Ils définissent la source de l'élaboration d'un modèle de données (modèle entité-association par exemple).

Modélisation des processus

Suite à la description de l'organisation du bloc opératoire, des informations échangées, et à l'identification des différents parcours potentiels du patient, il s'agit d'élaborer le modèle du système opérant et du système de pilotage du plateau technique regroupé. Deux types de modèles ARIS sont utilisés pour la vue processus : le diagramme de chaîne de plus-value (DCP) et la chaîne de processus événementielle (CPE), pour illustrer les différents niveaux de détail de cette vue. Le DCP permet en premier lieu de spécifier les fonctions de l'entreprise qui sont directement impliquées dans sa plus-value. En lien avec la chaîne d'activité de Porter explicitée au chapitre 1 (section 1.2.2), ce diagramme permet de mettre en évidence les activités créatrices de valeur. Il est composé d'un ensemble de processus (représentés par des boîtes en forme de flèche), reliés entre eux par des relations de précédence ou de supériorité. La CPE permet de représenter les relations entre les objets des vues des données, des activités et des vues organisationnelles, et par conséquent de modéliser les processus à un niveau détaillé. Lorsqu'un petit diagramme apparaît en bas à droite d'un objet, cela signifie qu'il existe un diagramme fils de cet objet qui décrit le système dans un niveau de détail plus fin. Nous ne présentons ici qu'une partie de ces modèles.

Dans le **processus global**, représenté sur la figure 4.4 par un diagramme de chaîne de plus-value (DCP), nous avons considéré le trajet du patient dans l'hôpital depuis son entrée avec sa pathologie jusqu'à sa sortie de l'hôpital. Le processus global est ainsi découpé en sous-processus ou étapes : (1) la consultation chirurgicale pré-opératoire, (2) la consultation anesthésique pré-opératoire, (3) la programmation opératoire, (4) le processus de soins, (5) les soins en unité d'hospitalisation. La troisième étape, le processus de programmation opératoire (correspondant au processus de pilotage du plateau technique), se déclenche à la fin de la consultation chirurgicale et se déroule jusqu'au commencement du processus de soins (hospitalisation du patient).

Chaque processus de la chaîne de plus value peut être détaillé en un DCP ou en chaînes de processus événementielles (CPE) selon le niveau de décomposition nécessaire. Le **processus de soins** est représenté par le DCP de la figure 4.5. Ce processus se décompose en un processus principal (depuis l'accueil dans le service le jour ou la veille de l'intervention

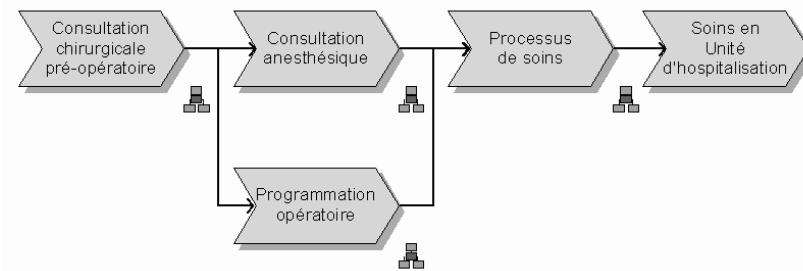


FIG. 4.4 – Processus global de prise en charge du patient

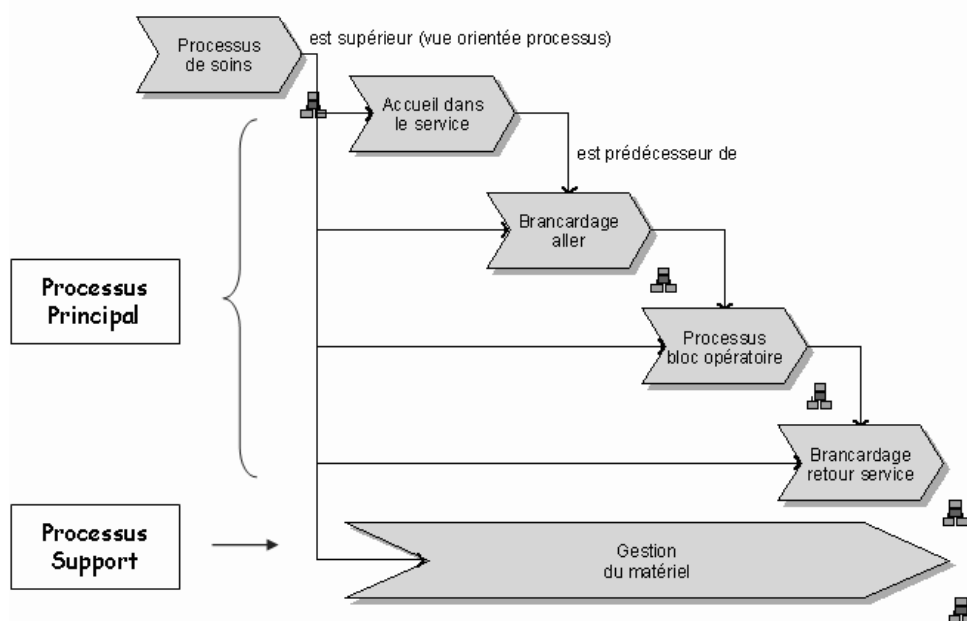


FIG. 4.5 – Processus de soins du patient

jusqu'au brancardage retour à la sortie du bloc), et en un processus de support (gestion du matériel regroupant les activités de commande et réception de matériel ainsi que les activités de nettoyage). Les sous-processus du processus principal sont reliés entre eux par des liens de précedence et sont reliés au processus père (processus de soins) par un lien de supériorité.

Le **processus bloc opératoire** débute à partir de l'entrée du patient dans l'enceinte du bloc et se termine lorsque le patient est apte à sortir, si son autorisation de sortie a été signée par le médecin anesthésiste. Le processus est décrit par une CPE à la figure 4.6. La colonne « est utilisée par » désigne les ressources nécessaires à l'exécution de la tâche. Cette information est notamment intéressante si l'on veut simuler ce processus à l'aide d'un outil de simulation de flux. Les différentes ressources utilisées sont : la salle d'accueil (SA), le sas de transfert (ST), la salle d'induction (SI), la salle d'opération (SOP), la salle de soins post-interventionnels (SSPI), le plateau de transfert, le lit et l'embase de produits stérilisés (chariot contenant les dispositifs médicaux stériles et les instruments nécessaires à l'intervention). La CPE permet d'identifier les différents flux au sein du processus. Les flux d'information sont représentés par les supports d'information des colonnes « est l'entrée pour » et « a pour sortie ». Les autres

colonnes contiennent les ressources humaines et matérielles nécessaires pour l'exécution des activités.

La chaîne de processus décrit l'enchaînement logique des activités, tout en donnant l'information sur les différentes ressources nécessaires à leur exécution. Les événements permettent de montrer la coordination des différents processus qui s'exécutent en parallèle ou bien en série (embranchements). Ce phénomène peut se remarquer dans le processus du bloc opératoire (représenté par une CPE), duquel plusieurs événements entrent et sortent et font la liaison vers les autres processus tels que le nettoyage du lit, le nettoyage des salles, la réception du matériel stérilisé, etc. La visualisation des événements de liaison vers les autres processus permet de se rendre compte de la coordination entre les différentes activités nécessaire au bon déroulement du processus de soin du patient.

La gestion du matériel a été incluse dans le processus de soin du patient (figure 4.5), en tant que support à l'exécution du processus bloc opératoire. En effet, la gestion du matériel concerne la préparation des différentes ressources nécessaires au déroulement du processus bloc opératoire, telles que la salle d'opération, la table et le lit du malade, mais aussi les chariots de produits stérilisés. Le processus de gestion du matériel est décrit comme une arborescence de sous-processus à l'aide d'un DCP (figure 4.7). On distingue les processus de gestion du matériel en classes :

- Hygiène et nettoyage : regroupe les activités de décontamination des différentes ressources utilisées au cours du processus bloc opératoire, à savoir le lit, la table d'opération et la salle d'opération.
- Gestion du matériel stérilisé : regroupe les activités de commande et de réception du matériel stérilisé et stocké par la stérilisation centrale. Il comprend également les activités de commande de matériels spécifiques à une intervention, tels que les prothèses, etc., qui doivent être commandés puis envoyés à la stérilisation centrale pour être stérilisés.
- Gestion du matériel technique : il s'agit des activités de contrôle du matériel technique contenu dans les salles d'opération.

Le processus de **programmation opératoire** contient les différentes activités qui contrôlent et coordonnent l'exécution des autres processus (figure 4.8). On appelle ce processus, le processus de pilotage du système global (Dionisi, 1993). Il peut être éclaté à l'aide d'un DCP, en une succession de sous-processus, correspondant à différents couples (horizon ; période) : (1) Réservation du créneau et du lit (6 mois ; mois), (2) Pré-programmation hebdomadaire (mois ; semaine), (3) Programmation journalière (semaine ; jour), (4) Régulation du programme opératoire (jour ; heure).

La programmation opératoire regroupe à la fois les activités de planification des lits, de planification de personnels, et de planification de l'activité opératoire (insertion d'une intervention dans le programme opératoire). Cette modélisation permet d'identifier l'enchaînement des différentes activités de décision ainsi que les décisionnaires. Cependant il nous a semblé difficile d'identifier toutes les activités de régulation du programme opératoire : la moindre perturbation implique une certaine remise en cause du programme établi. Il existe un grand nombre de perturbations possibles (annulation, rajout d'interventions, dépassement horaire, absence de personnel, défaillance de matériel, etc.) et d'actions correctrices associées.

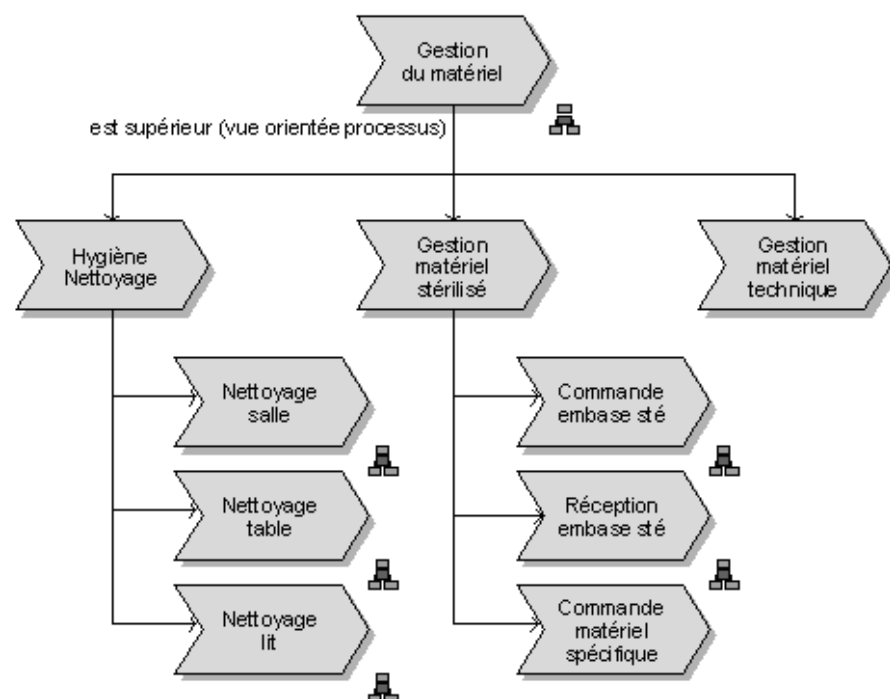


FIG. 4.7 – Processus support : Gestion du matériel

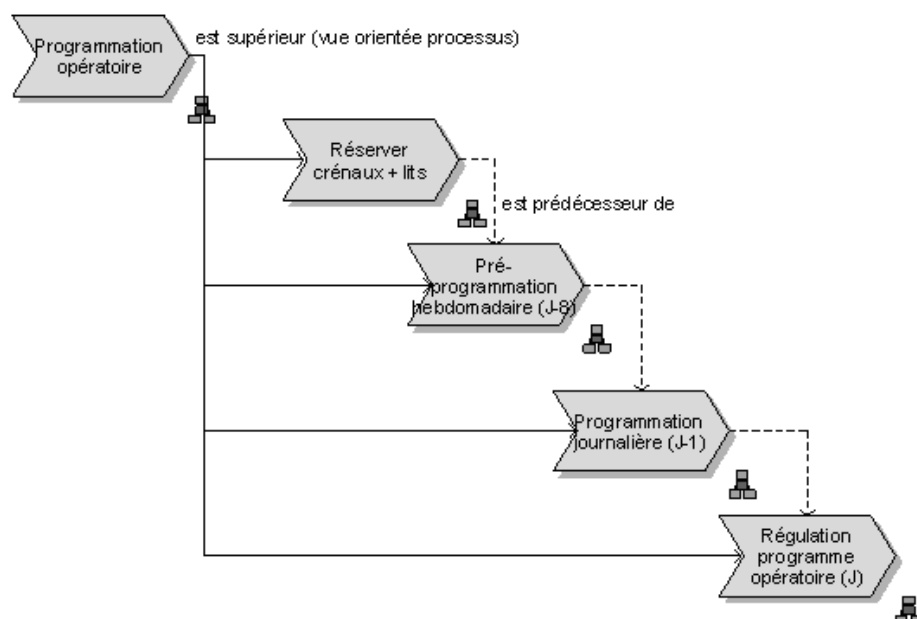


FIG. 4.8 – Programmation opératoire

4.3.3 Diagnostic du système et pilotage de la performance

La mise à plat de la pratique donne l'occasion de se questionner sur les habitudes de travail et d'identifier des points d'amélioration voire même des dysfonctionnements présents au sein de l'organisation. Tout au long de la recherche d'information pour la modélisation, dans la phase d'observation de l'organisation, un certain nombre de dysfonctionnements ont été identifiés :

- commande et réception de produits stériles,
- affectation des médecins anesthésistes aux salles d'opération,
- coordination des activités par l'appel anticipé du patient,
- suivi d'activité, surcharge de la programmation opératoire,
- régulation du programme opératoire et communication des ajustements,
- effectifs insuffisants dans les unités d'hospitalisation.

La logique de Lorino (2003) nous indique que l'analyse des enchaînements causes/effets, qui sont à l'origine des performances constatées, est nécessaire à la compréhension et à l'action : identifier les causes, c'est identifier les leviers d'action.

Pour chaque problème rencontré, nous avons recherché à caractériser le (ou les) phénomène(s) observé(s) et à identifier la (ou les) cause(s) de ceux-ci. Les dysfonctionnements rencontrés impactent la performance du PMT. Dans une démarche globale et multi-critère (Berrah, 2002), de pilotage de la performance du PMT, il y a nécessité de :

- fixer les objectifs à atteindre,
- identifier les indicateurs de performance qui permettent de mesurer l'efficacité des processus (niveau de performance) par rapport aux objectifs fixés,
- déterminer les variables d'action et de décision qui permettent d'agir sur le système et faire varier les indicateurs mesurés,
- mesurer les écarts de niveau de performance après la mise en application des actions correctrices.

Cette démarche d'amélioration de la performance peut être représentée par le schéma de la figure 4.9, tiré de (Acquier *et al.*, 2003).

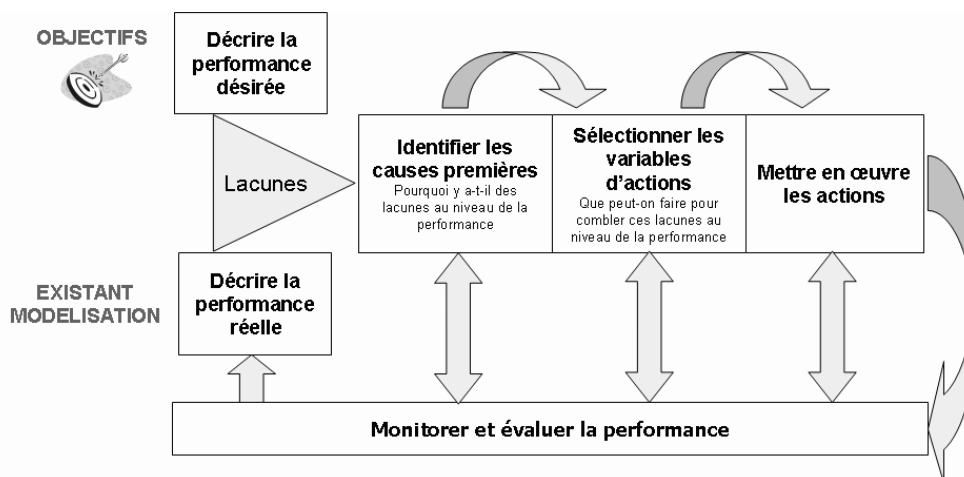


FIG. 4.9 – Cycle d'amélioration de la performance (Acquier *et al.*, 2003)

Objectif : Réduire le nombre d'interventions reportées dues à un problème de livraison de DMS		
Indicateurs de performance	Causes de la non performance	Variables d'action
Nombre d'interventions disposant des DMS nécessaires « On time in full »	Erreur de la préparation des DMS en stérilisation	Formation des préparateurs en stérilisation
	Erreur dans la rédaction du listing de DMS	Création d'une base de données fiable et complète accessible par requête
		Formation de l'IDE responsable de la rédaction des listings de DMS
		Ecriture d'un protocole pour la rédaction et la vérification des listings de DMS par les IBODE
	Retard de livraison des DMS	Anticipation de la préparation des DMS
Nombre de listings de DMS vérifiés par une IBODE	Absence de protocole pour la vérification des listings de DMS	Ecriture d'un protocole pour la vérification des listings de DMS
	IBODE n'ayant pas le temps suffisant pour l'étape de vérification	Dégagement de temps pour la vérification des listings de DMS

FIG. 4.10 – Démarche d'amélioration de la performance : recherche des variables d'action

Pour une analyse complète des dysfonctionnements et des propositions de solutions issues de l'application de cette démarche à nos deux partenaires, nous renvoyons le lecteur à (Trilling, 2004, 2005). A titre d'exemple de cette démarche, on peut citer, toujours pour le CHSJSL, les dysfonctionnements liés à la mise en place d'un nouveau mode de gestion des produits stérilisés, motivée par la centralisation de la stérilisation et du stockage des DMS (instruments, consommables, etc.). Cette innovation organisationnelle, prometteuse en économie à réaliser, induit cependant des changements organisationnels importants ayant des répercussions gênantes sur la performance du plateau technique. Une erreur dans la rédaction du listing de DMS ou dans la préparation des DMS se traduit inévitablement par un temps supplémentaire consacré à la réparation de l'erreur, ce qui peut avoir des répercussions importantes sur le programme opératoire, telles qu'un retard voire un report d'intervention. Une autre conséquence non négligeable est l'insatisfaction du personnel soignant et médical qui se voit perturbé dans son travail. Or, un climat de tension dans l'enceinte du bloc opératoire n'est pas favorable au bon déroulement des interventions. Le tableau de la figure 4.10 synthétise les différentes étapes de la démarche d'amélioration de la performance au niveau du nombre d'interventions dont le report est dû à un problème de livraison de DMS.

L'analyse de l'organisation établie, nous a permis d'observer les pratiques, de repérer les dysfonctionnements éventuels mais aussi d'identifier les innovations rencontrées dans le bloc opératoire multidisciplinaire pour lequel un fort niveau de mutualisation des ressources tant matérielles qu'humaines a été mis en place.

4.3.4 Modélisation du système cible

Dans la démarche d'accompagnement au changement par la modélisation d'entreprise, la modélisation de l'existant sous plusieurs vues est suivie d'un questionnaire sur les pratiques

(diagnostic) et de la conception des modèles de la structure cible sous les mêmes vues, qui s'adaptent aux nouveaux objectifs et aux nouvelles contraintes du système. Il s'agit donc de définir les nouveaux processus à mettre en œuvre ainsi que l'organisation qui les entoure : le degré de mutualisation des structures et des personnels, affectation des responsabilités et des périmètres d'action, etc.

Dans le monde hospitalier comme dans l'industrie, on apprend beaucoup des expériences de ses voisins (surtout lorsque les enjeux de concurrence sont faibles), ce qui permet de pas reproduire les mêmes erreurs et de tirer profit des réussites pour concevoir sa propre organisation. Au cours de cette section sur la modélisation du système cible, nous montrons dans un premier temps comment la modélisation des différentes vues de la modélisation d'entreprise nous a permis de faire ressortir les « bonnes pratiques » des établissements dans une démarche de type benchmark. Nous montrons ensuite en quoi l'observation sur le terrain, l'écoute des différents acteurs, ainsi que la formalisation des processus de chaque partenaire par des chercheurs du projet HRP² nous a permis d'élaborer un modèle de processus générique cible, qui rassemble les pratiques de chacun et qui peut servir de base à l'élaboration de l'organisation cible. Nous exposons la structure de ce modèle de processus générique, qui est une des briques du démonstrateur, livrable principal du projet HRP² et sur lequel repose la spécification de l'organisation des ressources humaines.

Benchmark interhospitalier

La description, par la modélisation d'entreprise, de l'organisation et des processus du PMT regroupé nous permet d'identifier un certain nombre de particularités du projet d'établissement de l'hôpital Saint Joseph Saint Luc. Parmi celles-ci, il est intéressant de citer :

- *l'existence d'instances d'organisation et de régulation, la centralisation de la programmation.* La centrale de réservation coordonne la réservation des créneaux opératoires et la réservation des lits, elle se charge de l'inscription au programme de toutes les interventions. La préprogrammation des interventions des différentes spécialités est de cette façon plus cohérente. Le conseil de bloc opératoire, composé de référents médicaux et de cadres de santé, vérifie ensuite la faisabilité du programme hebdomadaire.
- *la centralisation de la stérilisation.* La plupart du matériel stérile n'est plus stockée au bloc opératoire et fait l'objet d'une commande à la stérilisation centrale. Pour chaque intervention inscrite au programme, une IDE technique se charge de rédiger un listing de DMS contenant le libellé de tous les DMS nécessaires à l'intervention (les listings sont différents selon le chirurgien qui opère). Ce nouveau mode de gestion ne va pas sans soulever quelques tensions dans les équipes, car ce transfert de tâche implique également un transfert de savoir-faire qui est loin d'être évident.
- *l'hygiène et la prévention des infections nosocomiales.* Le mélange de plusieurs spécialités et de plusieurs niveaux d'asepsie au sein du même bloc opératoire impose des procédures de nettoyage strictes qui sont appliquées au matériel, tel que les lits et les tables d'opération, qui subissent systématiquement une décontamination à la vapeur.
- *la pluridisciplinarité des équipes médicales et paramédicales.* Les médecins anesthésistes, ainsi que les infirmiers IADE et IBODE sont de plus en plus polyvalents et peuvent ainsi assurer différents types d'intervention. Il existe cependant des compétences spécifiques que détiennent certains infirmiers ; ils sont alors naturellement affectés en priorité aux interventions de leur domaine de compétence, sans pour autant y être cantonnés.

Quels que soient les outils de modélisation utilisés, ils supposent une démarche de mise en œuvre et d'analyse comparable qui amène au même type de questionnement sur les différentes

vues processus, les organisations, les systèmes d'information et de décision. Dans une phase de benchmark entre plusieurs établissements engagés dans une démarche de conception ou de pilotage de leur PMT, la confrontation des différents modèles d'entreprise obtenus permet de faire émerger des « bonnes pratiques ».

Sur certains aspects, nous avons pu comparer les pratiques du CHSJSJL et du CHV. Cette comparaison est retranscrite dans les tableaux 4.1 et 4.2. Ces tableaux font apparaître certaines différences au niveau de l'organisation de certaines tâches (logistiques notamment) mais également liées au parcours du patient. En revanche le processus de programmation opératoire est semblable, bien que légèrement différent au niveau des inscriptions des interventions.

	CH SJSJL	CHV
Processus Patient		
Brancardage	Brancardage aller et retour assuré par un pool de brancardiers externes au bloc opératoire.	Brancardage aller et retour est assuré par les personnel soignant (AS ou IDE) de l'unité accueillant le patient
Préparation du patient pour l'anesthésie et anesthésie	Préparation du patient pour l'anesthésie réalisée en salle d'induction (1 salle d'induction pour deux salles d'opération) par une IDE chargée exclusivement de cette préparation. Transfert du patient en salle d'opération pour l'anesthésie	Préparation du patient pour l'anesthésie et anesthésie du patient réalisées dans une salle technique (1 place) pour les anesthésies locorégionales ou dans la salle d'opération pour les anesthésies générales.
Organisation du bloc		
Horaires de travail	Arrivée du personnel à 7h30 pour un début de de chirurgie à 8h, arrivée des premiers patients en décalé. Certaines salles ouvrent à 10h. Fin du programme à 15h30	Arrivée du personnel à 8h. Fin de programme à 15h30 Pour un départ du personnel à 16h (hors gardes et astreintes)
Salles d'opération	Salles polyvalentes Deux salles réservées à l'urgence. Une salle de césarienne d'urgence intégrée au bloc opératoire, à proximité des salles d'accouchement	Salles polyvalentes. Deux salles réservées à l'urgence. Une salle de césarienne d'urgence sera construite fin 2006 à proximité du bloc et des salles d'accouchements.
SSPI	Deux SSPI de 10 et 8 places (pour 12 salles d'opération)	Une SSPI de 14 places (pour 10 salles d'opération).
Zone dont le passage des personnels externes est autorisé	Personnel chargé du brancardage autorisé à pénétrer seulement en salle d'accueil. Transport du patient jusqu'à la sortie du bloc par un IDE de réveil. Brancardage retour pris en charge par le personnel externe à partir de la sortie du bloc	Personnel soignant des unités chargé du brancardage autorisés à pénétrer en salle d'accueil pour le brancardage aller et en SSPI pour le brancardage retour
Gestion du matériel		
Stockage du matériel stérile	Stockage principale en stérilisation Stock de sécurité des produits de base en salle consigné dans une armoire Système de commande/livraison de chariot par intervention entre la stérilisation et le bloc	Arsenal de stockage au niveau du bloc directement relié à la stérilisation par monte-charge. Dès la fin de stérilisation, les instruments sont renvoyés au bloc pour y être stockés
Trajet de la table d'opération	Transfert du patient de la table vers le lit effectué dans un sas de transfert avant que le patient n'entre en SSPI	Transfert du patient de la table vers le lit effectué en SSPI.
Nettoyage des salles d'opération	Nettoyage de la salle réalisé par une équipe composée d'un AS, pour le nettoyage des équipements médicaux et d'un ASH, pour le nettoyage des surfaces (sols, murs) et la récupération des déchets.	Nettoyage de la salle réalisé par un ou plusieurs ASH.
Décontamination des instruments	Décontamination précédant le processus de stérilisation réalisé dans l'unité de stérilisation, par des agents de stérilisation.	Décontamination précédant le processus de stérilisation réalisé au bloc opératoire, par des AS.

TAB. 4.1 – Comparaison des pratiques entre le CHSJSJL et le CHV (1)

	CH SJSL	CHV
Programmation		
Répartition des plages horaires	Programmation par allocation préalable de plages horaires Attribution des plages aux chirurgiens par demi-journée ou par journée	Programmation par allocation préalable de plages horaires Attribution des plages aux chirurgiens par demi-journée ou par journée
Inscription au programme opératoire	Demandes d'inscription au programme opératoire transmises par les secrétariats de chirurgie à la centrale de réservation chargée de coordonner le remplissage des plages opératoires et la réservation des lits d'hospitalisation.	Remplissage des plages opératoire par les secrétariats de chirurgie qui s'assurent de la disponibilité des lits.
Validation du programme opératoire (pré programmation J-8)	Réunion du conseil de bloc (cadre IBODE, cadre IADE, référent MAR) tous les jeudis pour la vérification et la modification de la pré-programmation hebdomadaire.	Réunion du comité de bloc (cadre IBODE, cadre IADE, représentant MAR, représentant CHIR) tous les jeudis pour la vérification et la modification de la pré-programmation hebdomadaire.
Programmation opératoire J-1	Examen du programme opératoire la veille du jour considéré, avec vérification de la faisabilité et éventuelle modification du programme.	Programmes journaliers de chaque spécialité renvoyés au bloc la veille du jour considéré.
Insertion des urgences	Urgences et modifications du programme retranscrites sur un exemplaire du programme affiché près du bureau du cadre IBODE.	Urgences retranscrites sur un tableau Velleda situé près du bureau des cadres de santé.

TAB. 4.2 – Comparaison des pratiques entre le CHSJSL et le CHV (2)

Élaboration d'un modèle de processus générique

La base d'expériences de plusieurs établissements (CHSJSL, CHUSE, CHV, CHPL et HCR) nous a permis de travailler sur le modèle générique de prise en charge du patient suivant les différentes filières (réglée, ambulatoire, urgence) à partir des modèles des processus des établissements partenaires. Ce modèle de processus est générique dans le sens où il intègre les variations des pratiques que l'on peut rencontrer dans les établissements. La fusion des modèles de processus est nécessaire afin de conduire à un processus générique enveloppe qui est à la base du cahier des charge du démonstrateur d'aide au dimensionnement de plateaux médico-techniques. Le modèle de processus générique est composé de huit sous-processus. Certains processus comportent plusieurs branches correspondant à toutes les pratiques que nous avons observées, permettant ainsi à chaque établissement de trouver le processus qui traduit son fonctionnement. Les processus génériques ou processus enveloppe couvrent les activités réalisées au bloc, qui sont les plus critiques au niveau de la consommation des ressources et de l'interaction avec le processus de soins du patient. Selon nous les processus qui doivent être simulés pour connaître la performance d'une organisation sont les suivants :

- Processus patient : activités liées directement au parcours du patient depuis son entrée dans le bloc jusqu'au brancardage retour.
- Processus lit ou brancard externe : activités de nettoyage et réfection du lit ou du brancard externe.
- Processus plateau ou brancard interne : activités de préparation du plateau ou du brancard interne avant l'intervention et de nettoyage après l'intervention.
- Processus de gestion de DMS : activités de réception, cueillette des DMS avant l'intervention et collecte, décontamination après l'intervention.
- Processus nettoyage salle et évacuation des déchets : activités de nettoyage des sols, des équipements de la salle, et d'évacuation des déchets.

- Processus nettoyage et déchets en routine ou une fois par jour : activités d'hygiène qui ne sont pas coordonnées avec le processus patient et qui sont réalisées à une ou plusieurs dates dans la journée.
- Processus linge et sabots : activités de réception puis d'évacuation des linges et sabots à une ou plusieurs dates dans la journée.

De nombreuses activités ont été prises en compte dans le modèle générique. Cependant si une activité n'est pas réalisée au sein d'un PMT donné, le décideur pourra lui attribuer un temps nul et aucune ressource. Elle ne sera alors plus considérée dans le modèle de simulation généré par le démonstrateur. Le lecteur trouvera l'ensemble des processus enveloppe dans l'Annexe C.

4.4 Conclusion

Tant dans la phase de conception que dans la phase de pilotage du plateau médico-technique, nous avons montré l'utilité de la modélisation d'entreprise, qui facilite la compréhension du fonctionnement du système et l'attribution des rôles, qui suggère le questionnement sur les pratiques existantes, qui se transforme en vecteur d'amélioration de la performance, et qui sert de support à l'élaboration des processus et de l'organisation cible du système.

La mise à plat du fonctionnement des différents établissements partenaires a permis de formaliser un modèle de processus générique qui couvre l'ensemble des pratiques existantes dans un PMT, qu'il s'agisse d'un établissement public ou privé (voir Annexe C).

La démarche que nous avons exposée en début de chapitre est donc engagée et nous la poursuivons dans les chapitres suivant :

- en utilisant le modèle de processus générique pour la spécification de l'organisation des ressources humaines et pour l'obtention des courbes de charges nécessaires au dimensionnement des ressources humaines (chapitre 5) ;
- en se basant sur les problèmes rencontrés sur le terrain et en formalisant des problématiques de pilotage pour la planification des personnels mutualisés (chapitres 6 et 7).

Chapitre 5

Construction des vacations et dimensionnement du personnel

Lors de la conception d'un nouveau PMT, il s'agit de définir le niveau de mutualisation des ressources humaines et matérielles, ainsi que le périmètre d'action de chaque acteur. Les différents choix doivent notamment être évalués en termes de coût de personnel induits par le dimensionnement de la force de travail adéquat. Afin d'aider le décideur à déterminer l'organisation des ressources conduisant au dimensionnement idéal, nous proposons dans ce chapitre un outil d'aide au choix d'organisation et au dimensionnement des ressources humaines basé sur la programmation linéaire en nombres entiers et sur la simulation de flux. Notre attention est focalisée sur la résolution du problème de construction de vacations à l'aide de la PLNE, qui consiste à couvrir à l'aide de vacations une courbe de charge obtenue par simulation. Deux approches hybrides permettant d'aboutir à un dimensionnement robuste sont proposées et comparées.

L'un des enjeux soulevés par le regroupement de plateau médico-technique consiste à déterminer l'organisation du travail des différents acteurs dans la structure commune. Les décisions d'organisation portent sur la mutualisation ou la sectorisation des différentes activités. Ces choix peuvent être aidés par l'évaluation du gain apporté par la mutualisation des activités en terme de coût lié au personnel requis. Pour chaque type de personnel travaillant au PMT, les charges générées par la prise en charge du flux de patients dépendent de l'organisation choisie et du niveau de mutualisation. Il s'agit ensuite de construire les horaires et de dimensionner la force de travail de manière à couvrir cette charge. Si le dimensionnement ne donne pas satisfaction, l'organisation peut être ajustée pour conduire vers de meilleurs résultats en terme de coût de personnel.

Le démonstrateur d'aide à la décision que nous avons présenté dans le chapitre 4 se propose entre autre d'évaluer par la simulation les conséquences de chaque choix avant leur mise en place dans le monde réel.

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes étapes nécessaires au dimensionnement des ressources humaines. La section 5.1 positionne tout d'abord nos travaux. Une seconde section (5.2) est consacrée à l'obtention de la courbe de charge par l'exploitation du modèle

de processus. Cette courbe de charge traduit, pour chaque type de personnel, le nombre d'employés requis pour chaque période de la journée. Pour la construire, des étapes préalables sont nécessaires (recueil d'activité, définition de règles de planification, modélisation des processus et de l'organisation des ressources). Pour résoudre le problème de construction des vacations et de dimensionnement des ressources humaines par l'exploitation de la courbe de charge, nous avons préféré adopter une approche par couverture plutôt qu'une approche implicite, qui nécessite une étape préalable d'énumération des vacations candidates (section 5.3). La section 5.4 présente dans un premier temps le modèle de couverture d'ensembles utilisé dans le démonstrateur, et l'interface utilisateur par laquelle la construction des vacations est restituée au décideur et peut subir des modifications. Dans un second temps une méthode hybride alliant simulation et recherche opérationnelle est proposée afin de palier certains inconvénients liés à l'utilisation de méthodes exactes uniquement.

5.1 Préambule : Modélisation de la demande

Dans les classifications de problèmes de planification de personnel (Tien et Kamiyama, 1982; Ernst *et al.*, 2004a), la première étape du processus de planification consiste à modéliser la demande. La modélisation de la demande a pour objectif de déterminer le nombre et la qualité (compétence) des employés nécessaires pour assurer l'activité de production ou de service. Elle est généralement non connue et donc nécessaire à évaluer lorsque l'on se trouve :

- dans un contexte de réponse à des changements de l'environnement, telle que l'évolution de la demande client, de la concurrence ;
- dans un contexte de réingénierie nécessitant la conception d'une nouvelle organisation pour améliorer les performances.

Selon la nature des organisations, cette demande peut prendre plusieurs formes. Elle impacte grandement la suite du processus de planification des ressources. On peut distinguer trois types de demande :

- La demande basée sur les tâches – *Task based demand*
Elle est exprimée sous forme d'une liste de tâches à accomplir, comprenant les caractéristiques d'heure de début, de durée (ou fenêtre de temps), de compétences et de localisation. La prévision de la demande consiste en la construction d'une séquence de tâches pouvant être assurées par une personne. Ce type de demande se retrouve dans le domaine du transport essentiellement.
- La demande flexible – *Flexible demand*
Pour la déterminer l'utilisation de techniques de prévisions est indispensable. Elle est exprimée à l'aide d'une courbe de charge qui détermine le nombre de personnes requises à différents moments de la journée pour chaque jour de l'horizon de planification. La demande flexible concerne les organisations telles que les centres d'appel, les personnels au sol des aéroports, la police, etc.
- La demande basée sur les vacations – *Shift based demand*
Ce type de demande est exprimé en nombre de personnes requises pour chaque vacation prédéfinie. Elle est rencontrée dans les problèmes de planification d'infirmiers, de personnel pénitencier, d'opérateurs sur ligne de production, etc. Ce type de demande, également appelé table des besoins, est soit obtenue par estimation, par calcul d'un niveau de service requis (nombre d'infirmiers par nombre de patient), par la demande de production, ou bien issue de la couverture d'une demande flexible.

Dans le cadre du regroupement de plateaux médico-techniques, la demande est généralement une demande basée sur les vacations, déterminée à partir d'une demande flexible évaluée en amont et que l'on cherche à couvrir.

Deux problèmes sont à résoudre dans la modélisation de ce type de demande (Ernst *et al.*, 2004a). Il s'agit de trouver d'une part une méthode pour traduire l'arrivée et le traitement d'événements en charge pour les employés, et d'autre part une méthode pour prévoir l'arrivée de ces événements. Le second besoin est souvent résolu en appliquant des méthodes de prévisions basées sur des techniques statistiques exploitant l'historique de l'activité. Nous nous focalisons sur le premier besoin, c'est-à-dire la méthode qui à partir de l'arrivée d'une demande élabore une courbe de charge.

Peu de travaux de la littérature se sont intéressés précisément à la modélisation de la demande exploitée par la construction des vacations. Nous avons cependant trouvé certains travaux qui couvrent les deux problèmes. Dans (Centeno et Ismail, 2003), les auteurs s'intéressent à la couverture de la charge prévisionnelle du personnel infirmier d'un service d'urgence, en portant une attention particulière à l'élaboration de la courbe de charge. L'approche proposée est séquentielle : le problème d'obtention de la courbe de charge est traité à l'aide d'un modèle de simulation imitant le comportement du service d'urgence et ses résultats sont ensuite des données du second problème de couverture optimale de cette charge, résolu par une approche explicite de couverture d'ensemble, utilisant la PLNE (approche de Danzig enrichie d'un regroupement de périodes et d'une réduction de variables).

Thompson (1993) expérimente plusieurs scénarios de modélisation de la demande en faisant varier cinq facteurs : (1) l'arrivée des demandes (clients) sur la journée, (2) l'arrivée des demandes sur la semaine, (3) le temps moyen de traitement d'une demande, (4) le coût d'insatisfaction d'une demande, et (5) la probabilité qu'un client soit insatisfait selon le temps d'attente. L'auteur présente une méthodologie basée sur la simulation pour évaluer les performances de six approches de construction de tours, dans lesquels les besoins en personnel par période de l'horizon de planification sont considérés soit comme un niveau minimal d'effectif à atteindre (autorisation du sureffectif uniquement), soit comme un niveau cible d'effectif (autorisation du sur- et du sous-effectif). Dans le cas d'un niveau minimal d'effectif, l'objectif est de minimiser le coût du personnel se rapportant au coût des tours, tandis que dans le cas d'un niveau cible d'effectif, l'objectif est de minimiser le coût global du personnel, mais également les coûts liés au surplus et au manque d'effectif sur chacune des périodes. Les approches se distinguent également par les coûts pris en compte pour évaluer le coût de surplus ou de manque d'effectif (coût variable ou fixe). Les expérimentations ont pour principal résultat de montrer que les approches classiques de couverture exacte de la charge (niveau minimum d'effectif) donnent des solutions plus coûteuses que l'approche autorisant le sur et le sous-effectif. Néanmoins les deux approches exploitent une courbe de charge obtenue par simulation.

Pour élaborer la courbe de charge reflétant les besoins en personnel pour chaque période de l'horizon de planification, nous proposons d'utiliser la modélisation des processus ainsi qu'un instrument de simulation de flux. L'obtention de la courbe de charge passe par plusieurs étapes que nous présentons dans la section suivante. Le reste du chapitre sera consacré à la construction des horaires de travail des personnels à partir de cette courbe de charge.

5.2 Obtention de la courbe de charge

La construction du modèle de simulation permettant d'évaluer le système et d'obtenir après une campagne de simulation, la courbe de charge représentant le besoin moyen de

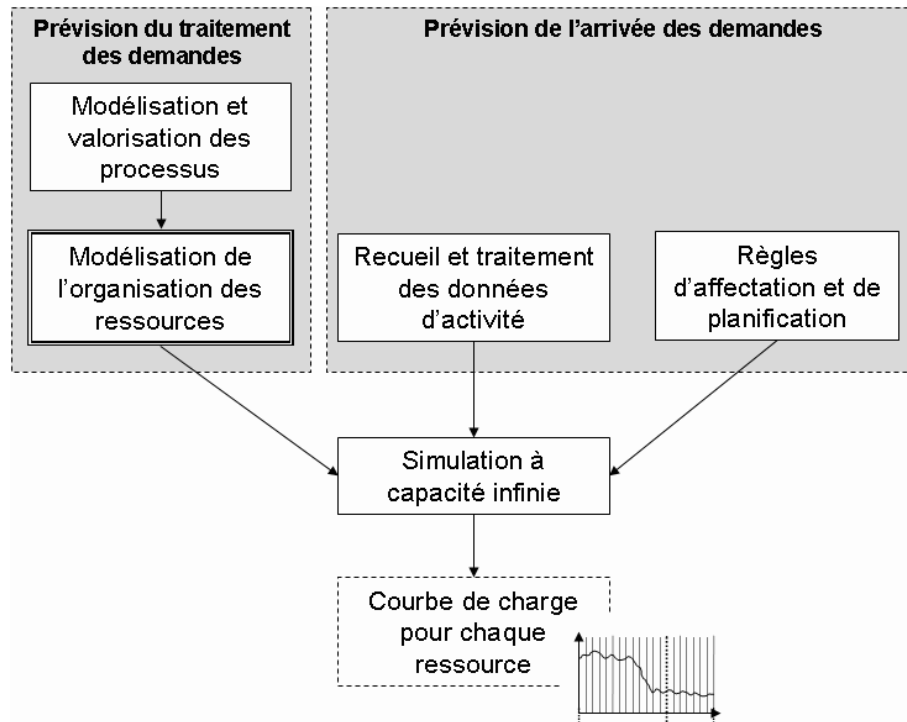


FIG. 5.1 – Étapes pour l'obtention de la courbe de charge via la simulation

personnel par période de l'horizon de planification, nécessite le passage par plusieurs étapes de spécification, comme le montre la figure 5.1. Ces étapes correspondent aux différents problèmes que (Ernst *et al.*, 2004a) préconise de résoudre pour modéliser une demande flexible :

- **La prévision du traitement des demandes** est couverte par la modélisation des processus, leur valorisation en terme de temps d'exécution de tâches, ainsi que la spécification de l'organisation des ressources humaines (qui fait quoi ? où ? quand ?) ;
- **La prévision de l'arrivée des demandes** passe par le recueil et le traitement statistique des données d'activité historiques et l'éventuelle extrapolation afin de prévoir l'activité future. Les règles d'affectation et de planification permettent d'aiguiller les demandes à travers le processus et les différentes ressources.

Notre attention se focalise principalement sur la modélisation de l'organisation des ressources humaines du plateau médico-technique. Nous évoquerons néanmoins rapidement les autres étapes dans un premier temps, pour approfondir davantage l'aspect de spécification de la répartition du personnel entre les différents processus, leur degré de polyvalence et de mutualisation.

5.2.1 Modélisation et valorisation des processus

Dans un premier temps, la modélisation des processus nous permet de formaliser de manière graphique les activités engendrées par le traitement des arrivées des « clients », ainsi que leur enchaînement. Il s'agit ensuite de préciser les temps de traitement associés à chaque activité, de même que leurs occurrences.

Structure des processus

Afin d'aider à la modélisation des processus, mais aussi pour permettre une transformation automatique du modèle de processus en modèle de simulation, nous avons élaboré, à partir de la capitalisation des connaissances des pratiques des partenaires hospitaliers du projet HRP², un modèle de processus générique qui couvre l'ensemble des activités consommatrices de ressources au sein du plateau médico-technique. Ce modèle de processus générique, qui a été introduit dans le chapitre 4, est présenté dans sa version complète en Annexe C. Il contient sept processus inter-reliés : le processus patient, le processus de gestion du lit ou du brancard externe, le processus de gestion du plateau ou du brancard interne, le processus de gestion des DMS, le processus de nettoyage des salles et d'évacuation des déchets, le processus de nettoyage et de gestion des déchets, et le processus de gestion du linge et des sabots.

La variété des pratiques observées est modélisée par différentes branches intégrées aux modèles de processus, comme l'illustre l'extrait du processus de prise en charge du patient présenté sur la figure 5.2. Dans cet exemple, il s'agit de savoir si l'induction du patient est réalisée en salle d'opération ou dans une salle spécifique dédiée à l'induction. Selon la réponse à cette question, le flux sera aiguillé vers l'une ou l'autre des branches. Ce modèle est statique : l'aiguillage est spécifié une seule fois pour l'étude d'un PMT donné et sera suivi lors de la simulation de l'activité.

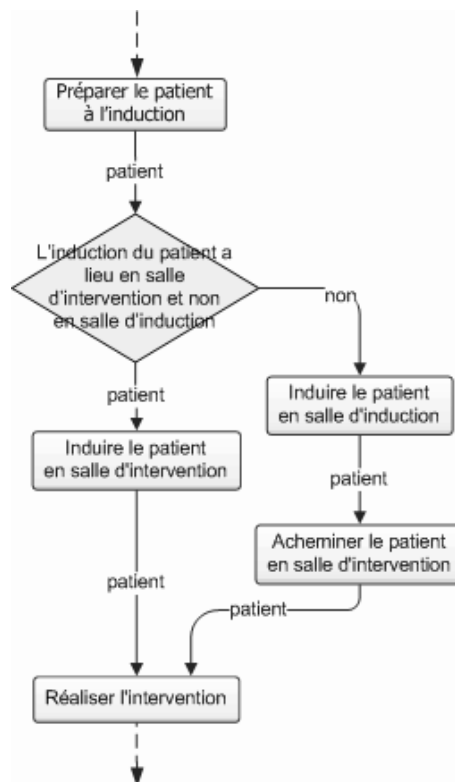


FIG. 5.2 – Extrait du processus de soin du patient

Sur la totalité des processus formalisés et qui seront ensuite simulés, nous avons comptabilisé sept aspects sur lesquels les pratiques pouvaient diverger. La spécification des processus du PMT passe par l'attribution d'une réponse (Oui/Non) aux interrogations suivantes :

1. Le patient circule à l'extérieur du bloc opératoire sur son lit ?
2. Le patient circule à l'intérieur du bloc opératoire sur la table d'opération ?
3. Le patient se réveille sur son lit en salle de réveil et non sur un brancard ?

4. Il existe un local intermédiaire pour le stockage des déchets avant évacuation ?
5. L'induction des patient a lieu en salle d'intervention et non en salle d'induction ?
6. La pré-désinfection des instruments est réalisée au bloc opératoire ?
7. Le nettoyage des auges de lavage des mains est réalisé après chaque intervention ?

Définition des temps et des occurrences de traitement

La spécification des pratiques particulières définit la structure des processus et élimine les activités des branches abandonnées. Toutes les activités des processus génériques retenues doivent être valorisées par des temps de traitement qui détermineront la durée de réquisition des ressources nécessaires à leur exécution. Cette valorisation des processus est une tâche délicate à réaliser. Selon le degré de disponibilité des données, plusieurs cas sont à considérer :

- L'établissement ne dispose d'aucun suivi des temps de processus : les temps associés à l'exécution des tâches peut alors être estimés par les professionnels, généralement à l'aide de valeurs constantes.
- L'établissement dispose d'un suivi des temps de processus : une analyse des données retranscrites par des fiches de suivi des temps permet d'estimer par le calcul des lois de distribution des durées de chaque étape des processus. Ces analyses, mobilisant beaucoup de temps et nécessitant une implication forte des personnels, couvrent rarement toutes les activités : les durées des activités non couverte devront faire l'objet d'estimations manuelles.

On note que certaines tâches des processus ne sont pas directement reliées au processus de soin du patient. Ceci signifie qu'elles ne sont pas déclenchées en fonction de l'arrivée d'un patient (comme pour l'activité « Accueillir le patient ») ou de la fin d'une intervention (comme pour l'activité « Nettoyer surfaces et équipements de salle intervention »). Leur occurrence en terme d'heure à laquelle elles sont exécutée, doit donc être précisée par l'utilisateur. Sur le modèle de processus générique, ces activités sont identifiées par un pictogramme représentant une petite horloge. Comme le montre la figure 5.3, la réception et la mise en rayon des DMS sont des tâches devant être réalisées une ou plusieurs fois dans la journée, à heure fixe.

Certaines activités sont reliées au flux de patient, mais nécessitent une anticipation vis-à-vis de l'arrivée de celui-ci. Elles sont identifiées par un pictogramme représentant un petit sablier. Ainsi l'étape de cueillette et d'acheminement des DMS vers les salles est dépendante de l'arrivée d'un patient, et sera déclenchée avec un temps d'anticipation, qui doit néanmoins être supérieur à son temps d'exécution.

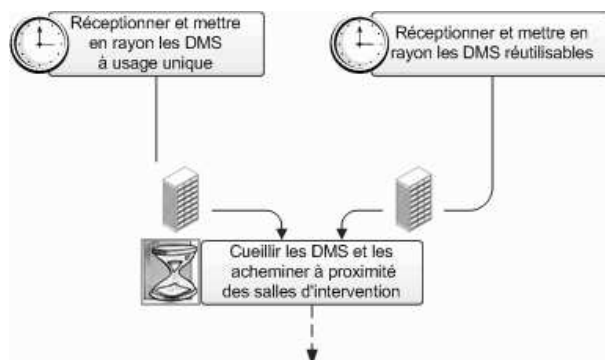


FIG. 5.3 – Extrait du processus de gestion des DMS

Les branches et les étapes du processus sélectionnées, ainsi que les durée et les occurrences de traitement associées sont enregistrées dans une base de données, à partir de laquelle sera construit le modèle de simulation des flux de patient.

5.2.2 Prédiction de l'arrivée des demandes

Recueil d'activité

La détermination des données d'entrée pour le dimensionnement du personnel, passe par l'analyse nécessaire des données historiques afin de connaître le volume d'activité à traiter (Bard, 2004). Dans le cas du plateau médico-technique, cette analyse de données vise à déterminer les « prévisions de production » d'interventions du PMT (en nombre d'interventions par semaine), ainsi que les durées opératoires.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, le PMT regroupé est le lieu de convergence des flux de patients issus de spécialités chirurgicales et de modes de prise en charge (chirurgie réglée, chirurgie ambulatoire et chirurgie d'urgence) diverses. Les données d'activité sont ainsi à décliner selon les spécialités et les modes de prise en charge. Elle peuvent être extraites du système informatique, si celui-ci existe, ou bien du recueil des informations contenues dans les cahiers de bloc¹. Une autre solution est de passer par les données du PMSI², disponibles en ligne pour chaque établissement, qui indiquent le nombre d'interventions de chaque GHM³ réalisé dans l'année.

Dans la littérature les lois de distribution des durées des interventions couramment utilisées sont les lois normale et log-normale (Strum *et al.*, 2003), faisant appel à plusieurs paramètres (moyenne, écart type, intervalle de définition) (Marcon *et al.*, 2003b). Cependant d'autres loi de distribution classiques, telles que les lois continue, discrète, uniforme, de Poisson ou triangulaire, peuvent tout aussi bien être employées, tant qu'elles traduisent la réalité de l'établissement.

Dans l'idéal, il faudrait que les autres durées du processus de soins du patient, et même celles des processus de support (nettoyage de la salle) soit décliné selon les spécialités, mais ceci complexifierait considérablement l'outil qu'est le démonstrateur. Par souci de réalisme vis-à-vis de l'utilisateur et du développeur, on cherchera à exprimer uniquement la durée de l'intervention et la durée du réveil en fonction des spécialités chirurgicales.

Le recueil d'activité consiste également à déterminer la loi d'arrivée des cas urgents, qui peut se modéliser par une loi discrète, traduisant le nombre de patients moyen se présentant à chaque heure de la journée.

Règles d'affectation et de planification

Dans les structures de grandes tailles rassemblant un nombre important de salles et de spécialités chirurgicales, il est préconisé de planifier les interventions selon le mode de programmation par plages (Marcon et Kharraja, 2003). La simulation des flux de patients de

¹Dans les cahiers de blocs (un par salle) sont consignées toutes les interventions réalisées dans les salles du PMT et sont précisées certaines informations (nom du patient, type d'intervention, nom du chirurgien, nom de l'anesthésie, heure d'arrivée du patient, heure de départ). La tenue de ces cahiers est obligatoire.

²Programme de Médicalisation du Système d'Information

³Groupe Homogène de Malade

chirurgie réglée du PMT est alors fondée sur le Plan Directeur d'Allocation des plages horaires (PDA), qui définit la répartition des spécialités et des modes de prise en charge, sur les salles opératoires et sur les créneaux de la journée. Le nombre et la taille des plages du PDA attribuées doivent être suffisants pour accueillir les interventions prévues pour chaque spécialité et respecter les proportions des volumes d'intervention de chaque spécialité par rapport au volume d'intervention total du PMT. Le PDA est construit soit manuellement, soit à l'aide d'un programme de construction automatique. Le remplissage des plages (à 80% par exemple pour pallier les aléas), fonction du nombre d'interventions et des durées opératoires, doit également vérifier l'adéquation entre la charge (flux de patient à traiter) et la capacité (taille des plages opératoires allouées aux spécialités).

Les flux de patients urgents sont soit placés dans des créneaux réservés au mode de prise en charge « chirurgie d'urgence », soit insérés dans le programme opératoire de chirurgie réglée si aucune salle n'est dédiée à l'urgence.

5.2.3 Modélisation de l'organisation des ressources humaines

Le projet de regroupement des blocs opératoires au sein d'un plateau médico-technique (PMT) unique est l'occasion de repenser l'organisation du travail des acteurs. Le rapprochement géographique autorise de mettre en commun certaines ressources pouvant intervenir au cours du processus de soins des différentes spécialités du PMT. Dans le chapitre 1, nous avons vu que, dans ce contexte, des décisions au niveau de la mutualisation des ressources matérielles et humaines sont à prendre : faut-il mutualiser les ressources ou bien les sectoriser ? Ces décisions sont le fruit de négociations entre les acteurs du PMT, qui recherchent l'organisation qui plaise au plus grand nombre et montre une performance en termes de coûts, de qualité de soins et de satisfaction des personnels.

Dans une analyse basée sur la simulation et focalisée sur le personnel de nettoyage du bloc opératoire (ASH), Albert *et al.* (2006) montrent que dans un grand nombre de cas, l'organisation mutualisée est plus performante que l'organisation sectorisée. Les différentes alternatives de mutualisation sont évaluées à l'aide de 4 critères (nombre d'ASH présents, respect des pauses déjeuner, durée moyenne de travail effectif dans les salles opératoires, durée moyenne de travail effectif des ASH), en comptabilisant dans le temps d'occupation du personnel, les temps de nettoyage et les temps de déplacement entre les salles opératoires et le bureau des ASH. Cette étude montre que les bénéfices économiques de la mutualisation peuvent être appréciables sans détériorer la qualité de service ni la satisfaction sociale.

Notre ambition dans cette section est de fournir un cadre à la modélisation de l'organisation des ressources humaines du PMT. Ce cadre permettra au décideur de formuler l'organisation des ressources humaines qu'il souhaite simuler afin d'évaluer les performances du PMT.

Quelles sont les ressources ?

Dans un premier temps, il s'agit de connaître les différentes classes de personnels travaillant au bloc opératoire et qui doivent être prises en compte dans le modèle de simulation. Dans le chapitre 1, les différentes catégories de personnels soignants et médicaux ont été présentées. Il est ressorti de la description des rôles de chacun, que certaines catégories de personnels pouvaient être amenées à occuper différents postes. Nous pouvons citer à titre d'exemple, les IADE, qui peuvent être aussi bien affectées à un poste de surveillance de l'anesthésie en salle d'opération qu'à un poste de supervision de la SSPI.

Fonctions	Postes
Médecin Anesthésiste Réanimateur (MAR)	–
Chirurgien (CHIR)	–
Infirmier de Bloc Opératoire (IBODE)	IBODE en salle IBODE en stérilisation
Infirmier (IDE)	IDE d'induction IDE de salle de réveil
Infirmier Anesthésiste (IADE)	IADE de salle IADE de SSPI
Aide Soignant (AS)	AS de salle AS de SSPI AS d'accueil
Agent de Service Hospitalier (ASH)	ASH de nettoyage ASH d'évacuation

TAB. 5.1 – Fonctions et postes du PMT

Ceci nous amène à considérer pour l'évaluation de la charge, non plus seulement des types de personnels correspondant aux catégories professionnelles uniquement, mais à prendre également en considération les postes associés à ces catégories. Cette différenciation entre les fonctions (catégories professionnelles généralement définies par les diplômes) et les postes (rôle joué au cours d'une journée de travail) permet d'être plus flexible dans l'affectation des ressources par la suite et d'être plus précis dans les possibilités d'organisation. Prenons l'exemple de la fonction AS, qui dans un établissement est associée à plusieurs postes : AS de salle, AS de SSPI et AS d'accueil. Dans l'affectation aux tâches des processus, l'indication de la fonction et du poste permet de distinguer les groupes d'acteurs (AS de salle, AS de SSPI, AS d'accueil) qui interviennent sur des morceaux de processus, afin de ne pas attribuer à une seule fonction (AS) toutes les tâches du processus.

Les fonctions et postes que l'on peut rencontrer dans les blocs opératoires sont rassemblés dans le tableau 5.1. Cette liste ne se veut pas exhaustive ni universelle. Elle peut être enrichie par les utilisateurs désirant faire intervenir au cours des processus un autre type d'acteur ou définir pour une fonction donnée un poste supplémentaire. A contrario, lorsque la différenciation d'une fonction en plusieurs postes n'est pas nécessaire, l'utilisateur a la possibilité de supprimer les postes associés. Pour certaines fonctions, il est par ailleurs difficile de formuler a priori des postes associés.

Comment sont organisées les ressources ?

Une fois que les fonctions et les postes ont été définis, il s'agit de préciser l'affectation des ressources aux activités des processus mis en œuvre dans le PMT. Les activités à prendre en charge sont rassemblées en sept processus que l'on retrouve en annexe C. Ces affectations relient un poste à une ou plusieurs tâches et une tâche à un ou plusieurs postes.

Un PMT est composé de plusieurs salles d'intervention, auxquelles sont associés des salles d'accueil, des sas de transfert, des salles d'induction et des salles de réveil. Comme nous l'avons vu dans la section 5.2.1, le modèle de simulation contient autant de processus parallèles que de salles d'intervention. Il est indispensable d'ajouter une dimension à l'affectation des ressources et de définir la répartition des ressources humaines sur les flux de patient correspondant à chaque salle d'intervention. Cette seconde dimension permet de relier les types de person-

nel aux processus et de faire appel pour chaque activité au bon groupe de ressources. Pour déterminer cette organisation transversale sur les salles, nous parlons de **polyvalence horizontale**. Lorsque deux tâches se suivent et qu'elles nécessitent l'intervention d'un même type de personnel, se pose la question de la libération de la ressource entre les deux tâches. Pour préciser l'organisation des ressources au cours du processus, nous parlons de **polyvalence verticale**.

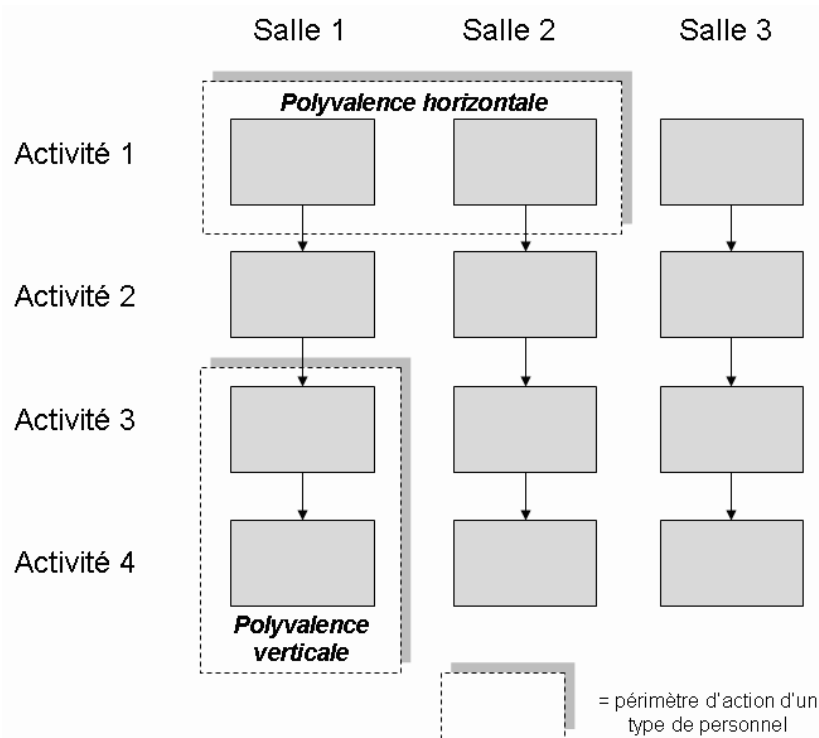


FIG. 5.4 – Polyvalence horizontale et verticale

Polyvalence horizontale

Pour la spécification de l'organisation horizontale des ressources humaines, nous introduisons la notion de « répartition » des personnels sur les salles. Ces répartitions correspondent au périmètre d'action d'un individu ou d'un groupe d'individus.

Il est fréquent qu'un type de personnel occupant un même poste (AS de salle par exemple) intervienne sur les tâches relatives à un groupe de salles qu'il convient de définir. Pour avoir une imputation des temps d'exécution des tâches aux ressources qui soit juste, il faut connaître exactement l'organisation des ressources humaines sur l'ensemble des salles du PMT. En reprenant l'exemple des AS de salle, chargés de la remise en état des salles après les interventions, nous pouvons considérer plusieurs organisations sur un PMT de 6 salles parmi lesquelles :

1. un AS de salle prend en charge 3 salles, un autre AS prend en charge les 3 salles restantes ;
2. deux AS de salle prennent en charge les 6 salles.

Dans les deux organisations, la réquisition des ressources au cours de la simulation ne sera pas la même, et n'aboutira pas aux mêmes valeurs d'indicateurs de performance. L'affectation de postes aux activités des processus ainsi que la précision de la répartition des salles associée à cette affectation permettent à l'utilisateur de traduire dans le démonstrateur sa stratégie au niveau de la mutualisation et de la polyvalence des personnels.

Polyvalence verticale

Lorsque deux activités se suivent dans un processus et requièrent toutes deux l'utilisation d'un type de ressources humaines, deux possibilités sont offertes :

1. Soit les deux activités doivent être réalisées par le même individu sans qu'il soit libéré entre les activités ;
2. Soit les deux activités requièrent le même niveau de compétences mais autorise un changement d'entité réquisitionnée entre les activités.

Dans chacun des cas, l'occupation totale des ressources n'est pas la même et pour cette raison, cette notion de polyvalence verticale doit être précisée par l'utilisateur dans chaque situation. Nous pouvons citer comme exemple le cas des activités « Transférer le patient sur un plateau ou sur un brancard interne » et « Acheminer le patient du sas de transfert vers le lieu d'induction » qui se suivent dans le processus patient (cf. Annexe C). Pour chacune de ces activités un AS de salle est nécessaire. Si un relâchement de la ressource AS de salle est autorisé entre les deux activités, cela signifie qu'elle pourra être réquisitionnée pour une autre activité se présentant, et devenir indisponible pour la seconde activité de notre séquence. Lorsque la libération entre ce couple d'activités pour cette ressource n'est pas autorisée, la ressource AS de salle restera occupée durant l'exécution des deux activités, même si un temps d'inactivité du à l'attente de la disponibilité d'une autre ressource apparaît.

5.2.4 Simulation à capacité infinie

Les phases précédentes ont rassemblés toutes les informations nécessaires à la construction du modèle de simulation de flux du PMT : nous connaissons les processus, les temps d'exécution de chaque activité, le flux de patients à traiter pour chacune des salles opératoires, ainsi que les ressources humaines nécessaires aux activités et leur organisation sur les salles. Ces informations, saisies par l'utilisateur à travers une interface développée sous Microsoft Access, sont stockées dans une base de données. Un programme génère le modèle de simulation de manière automatique à partir de requêtes sur cette base.

Le démonstrateur a été développé par le LASPI en utilisant, pour la génération et le lancement du modèle de simulation de flux, un outil de simulation dit de troisième génération (GHC, 2003). En utilisation standard, il permet de simuler un système avec très peu de programmation, en contraste avec les outils de première génération utilisant des langages de programmation universel et ceux de seconde génération basés sur des langages spécifiques. Une analyse comparative poussée de 18 outils de simulation, a amené (Albert et Marcon, 2005) à choisir le logiciel Siman-Arena pour la mise en œuvre du démonstrateur.

La simulation du PMT sur horizon allant de la semaine à l'année, selon la fluctuation de l'activité d'un jour sur l'autre et la précision des résultats souhaités, permet d'obtenir la courbe de charge représentant le besoin en personnel pour chaque période de la journée, et pour chaque jour de la semaine.

5.3 Énumération des vacations

La première formulation du problème de construction d'horaires sous forme de programme linéaire entier a été proposée par Dantzig (1954). Dans cette formulation le nombre de variables correspond au nombre de vacations envisageables, qui augmente considérablement lorsque l'on

considère un grand nombre d'heures de début, de durées et de placements des repos possibles. Les vacances envisageables doivent être énumérées avant de lancer le modèle d'optimisation, qui sélectionnera un ensemble de ces vacances et déterminera le nombre d'employés nécessaires par vacances. D'autres auteurs (Musliu *et al.*, 2004; Bechtold et Jacobs, 1990) proposent des modèles implicites, dans lesquels les vacances ne sont plus listées, mais construites au fur et à mesure que la solution est générée. Partouche (1998) montre dans sa thèse que bien souvent l'utilisation de la programmation linéaire en nombres entiers pour l'approche explicite donne pleine satisfaction. Plutôt qu'un modèle implicite, nous avons choisi d'adopter un modèle de couverture explicite, pour lequel une liste de vacances envisageables doit être établie.

Dans cette section, on s'intéresse à la construction de la bibliothèque de vacances qui constitue un des paramètres du modèle de construction des vacances.

5.3.1 Paramètres des vacances

Cette étape consiste à déterminer l'ensemble des vacances candidates du problème. Une vacation candidate est une vacation qui respecte les contraintes de début et de fin de travail, de durée d'une journée de travail et de placement des pauses propres à l'organisation. Pour l'énumération des vacances candidates, il est nécessaire de préciser les paramètres suivants (Partouche, 1998) :

- Les durées minimum et maximum d'une vacation.
- Les heures de début au plus tôt et au plus tard d'une vacation. Les heures de fin au plus tôt et au plus tard, sont déduites des heures de début et des durées de la vacation.
- La durée d'une pause, si la vacation en contient une.
- Les heures de début et de fin d'une fenêtre de pause, qui délimitent une plage au cours de laquelle une pause peut être placée.
- le nombre d'heures minimum devant être effectuées avant le placement d'une pause et après celle-ci.

Nous nous plaçons dans un cas où une seule pause, correspondant à la pause de repas, peut être incluse dans la vacation. Dans le milieu hospitalier, mais aussi dans d'autres organisations, on note l'existence de types de vacances positionnés au cours de la journée telles que la vacation du matin, celle du soir et celle de la nuit. Dans les blocs opératoires, qui ne fonctionnent pas tous en continu et optent parfois pour la mise en place d'astreintes pour la prise en charge des cas survenant la nuit, il est plus courant de rencontrer des types de vacation Matin et Après-Midi, qui peuvent se chevaucher.

Afin de fournir un modèle de construction des vacances aussi générique que possible, nous proposons de définir les paramètres de la liste ci-dessus pour un nombre de types de vacances déterminés par le décideur. L'algorithme de génération des vacances sera appliqué à chaque type de vacation défini.

5.3.2 Algorithme d'énumération des vacances

L'énumération des vacances revient à construire une matrice de couverture dont les lignes sont les vacances candidates, les colonnes sont les périodes de la journée, et les intersections correspondent à la couverture de la période par la vacation.

Hypothèses

Dans l'algorithme d'énumération des vacances, nous faisons une série d'hypothèses. La journée est découpée en périodes ayant une durée de une heure. La matrice de couverture des périodes par les vacances possède donc 24 colonnes correspondant aux 24 heures de la journée. Les pas de pauses, de début de vacances et de durées de vacances sont tous de une heure. Une seule pause, d'une durée d'un multiple d'une heure (une période) peut être incluse ou non, selon les spécifications de l'utilisateur, au milieu de la vacation, à l'intérieur d'une fenêtre de positionnement de pause, tout en respectant un nombre minimum d'heures travaillées avant et après la pause. L'horizon de temps considéré est la journée (24 périodes).

Ensembles et indices

- $\mathcal{V}$ = Ensemble des indices représentant les vacances à énumérer ; $v \in \mathcal{V} = \{1, \dots, V\}$
- $\mathcal{T}$ = Ensemble des indices représentant les types de vacances ; $t \in \mathcal{T} = \{1, \dots, T\}$
- $\mathcal{H}$ = Ensemble des indices représentant les périodes de l'horizon de planification ; $j \in \mathcal{H} = \{1, \dots, H\}$

Variables à déterminer

- V = Nombre de vacances énumérées
- a_{vj} = Couverture de la période j par la vacation v

Paramètres utilisés

- H = Nombre de périodes considérées sur l'horizon de temps
- $DebutJournee$ = Heure de début de la journée (par défaut 0)
- $FinJournee$ = Heure de fin de la journée (par défaut 24)
- $DureeMax_t$ = Durée maximum du type de vacation t
- $DureeMin_t$ = Durée minimum du type de vacation t
- $DebutTot_t$ = Heure de début au plus tôt du type de vacation t
- $DebutTard_t$ = Heure de début au plus tard du type de vacation t
- $ExistencePause_t$ = Paramètre indiquant l'existence d'une pause pour le type de vacation t
- $DebutFPause_t$ = Heure de début de la fenêtre de pause du type de vacation t
- $FinFPause_t$ = Heure de fin de la fenêtre de pause du type de vacation t
- $DureePause_t$ = Durée d'une pause du type de vacation t
- $MinAvantPause_t$ = Nombre de périodes minimum devant être travaillées avant la pause pour le type de vacation t
- $MinApresPause_t$ = Nombre de périodes minimum devant être travaillées après la pause pour le type de vacation t

Algorithme

```

v := 1 ;
V := 0 ;
Pour t = 1...T faire
  Pour duree = DureeMin_t ... DureeMax_t faire
    Pour debut = DebutTot_t ... DebutTard_t faire

```

```

Pour k = 0 ... FinFPauset - DebutFPauset - DureePauset faire
  Si (debut + duree <= FinJournee) alors
    Si (DebutFPauset + k - debut >= MinAvantPauset) alors
      Si (debut + duree + DureePauset - DebutFPauset + k >= MinApresPauset)
        alors
          Pour j = 0...debut - 1,
            faire avj := 0 ;
          FinPour
          Pour j = debut...(DebutFPauset - 1 + k),
            faire avj := 1 ;
          FinPour
          Pour j = (DebutFPauset + k)...(DebutFPauset + k + DureePauset - 1),
            faire avj := 0 ;
          FinPour
          Pour j = (DebutFPauset + k + DureePauset)...(debut + duree + DureePauset
            - 1),
            faire avj := 1 ;
          FinPour
          Pour j = (debut + duree + DureePauset)...FinJournee,
            faire avj := 0 ;
          FinPour
          v := v + 1 ;
        FinSi FinSi FinSi
      FinPour FinPour FinPour FinPour
    V := v ;
  
```

Les informations nécessaires à l'énumération des vacances candidates sont renseignées par l'utilisateur à l'aide de la fenêtre de saisie présentée sur la figure 5.5. Il est possible de rajouter des types de vacances en les désignant par un nom évocateur (Matin, Soir ou bien Horaire court, Horaire long) et d'en supprimer. Pour chaque type de vacation créé, l'utilisateur doit renseigner les paramètres relatifs à la durée et à l'heure de début d'une vacation, ainsi qu'à la durée et au placement d'une pause. Une fois enregistrées, ces informations constituent les paramètres utilisés dans l'algorithme présentée plus haut.

Nom du type de vacation	Durée de la vacation		Début de la vacation		Pause Durée	Fenêtre de pause		Nombre d'heures de travail minimum		
	Minimum	Maximum	Au plus tôt	Au plus tard		Début	Fin	Avant la pause	Après la pause	
matin	6	8	7	10	1	0	0	0	0	
midi	5	8	10	15	1	0	0	0	0	
soir	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

FIG. 5.5 – Écran de saisie des paramètres pour la génération de l'ensemble des vacances candidates

Le tableau 5.2 donne une partie de la matrice de couverture obtenue pour un type de vacation, de durée allant de 7 heures à 8 heures, pouvant commencer entre 7 :00 et 11 :00, contenant une pause de 1 heure devant être placée impérativement entre 11 :00 et 14 :00 avec un minimum de 2 heures de travail précédant la pause et de 1 heure la suivant. Cette matrice contient 24 vacations.

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

TAB. 5.2 – Exemple de matrice de couverture des périodes j (colonnes) par les vacations v (lignes)

5.4 Problème de construction des vacances

Les principes du Problème de Construction des Vacances (PCV) ont été explicités dans le chapitre 3. A partir de l'élaboration de la courbe de charge (section 5.2) et de l'énumération de toutes les vacations candidates (section 5.3), il s'agit maintenant de sélectionner les vacations qui permettent de couvrir la charge de travail au moindre coût. Dans le démonstrateur nous avons implémenté un modèle d'optimisation basé sur la programmation linéaire, que nous présentons dans un premier temps. Les processus se déroulant au bloc opératoire ayant une forte nature stochastique, nous nous sommes questionnés sur la pertinence de rechercher à couvrir la charge moyenne obtenue par simulation au moindre coût de personnel, sans évaluer par la suite le comportement de cette solution. La seconde partie de cette section est consacrée à montrer la pertinence de l'utilisation des méthodes hybrides alliant recherche opérationnelle et simulation pour la recherche du dimensionnement de la force de travail présentant le meilleur niveau de performance.

5.4.1 Programmation linéaire

Le modèle de couverture de charge incorporé au démonstrateur est directement inspiré du modèle de couverture d'ensemble de Dantzig (1954) et peut être exprimé comme suit :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_{i=1}^N c_i X_i \quad (5.1)$$

Soumis aux contraintes :

$$\sum_{i=1}^N a_{ij} X_i \geq P \times b_j \quad \forall j = 1, \dots, H \quad (5.2)$$

$$X_i \geq 0 \text{ et entier} \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (5.3)$$

où :

- N = le nombre de vacances candidates ;
- H = le nombre de périodes comprises dans l'horizon de planification ;
- c_i = le coût de la vacation i ;
- a_{ij} = un paramètre binaire définissant la couverture de l'horizon par la vacation i : égal à 1 si la vacation i couvre la période j , égal à 0 sinon ;
- b_j = le nombre d'employés requis pour la période j ;
- P = un paramètre, correspondant au pourcentage de la courbe de charge devant être couvert ;
- X_i = une variable définissant le nombre d'employés affectés à la vacation i .

Le coût c_i des vacances est ici assez simple à déterminer. Il est proportionnel au nombre d'heures de travail comprises dans chacune des vacances (paramètre compris entre $DureeMin_t$ et $DureeMax_t$ pour le type de vacation t). Une formule pour calculer c_i est la suivante :

$$c_i = C \times \sum_{j=1}^H a_{ij}$$

où C représente le coût d'une heure de travail pour le type de personnel considéré.

Le pourcentage P de couverture de la charge prévisionnelle est un paramètre renseigné par l'utilisateur depuis l'interface présentée sur la figure 5.5. La courbe de charge (représentée par les paramètres b_j) fournie par la simulation indique le nombre moyen de personnes requises sur chaque tranche horaire. Cette valeur est obtenue en faisant la moyenne des besoins sur la tranche horaire et sur le nombre de simulations. Cependant aucune étude ne nous prouve que couvrir la charge moyenne optimise la qualité de service et le coût de la solution. Pour cette raison, nous donnons la possibilité au décideur de jouer sur le niveau de charge à couvrir en précisant le paramètre P . Dans la partie suivante nous montrerons l'intérêt d'approches hybrides pour déterminer la meilleure valeur de P .

La solution donnée par ce modèle d'optimisation est un ensemble de valeurs assignées aux variables X_i qui couvrent la courbe de charge impactée par le paramètre P (équation 5.2), et respectent la contrainte de non négativité des variables (équation 5.3) tout en minimisant les coûts des vacances choisies (équation 5.1).

Les résultats de ce modèle sont restitués à l'utilisateur via une interface représentant la courbe de charge, les vacances sélectionnées ainsi que l'effectif associé (valeur de X_i), et le profil de présence du type de ressources humaines, obtenu par le produit $a_{ij} X_i$. Une exemple d'interface est présenté sur la figure 5.6. L'utilisateur a la possibilité de préciser les vacances du type de personnel à la main ou de faire appel au calcul automatique des vacances. Les résultats donnés par la construction automatique sont ensuite ajustables si ces derniers ne conviennent pas à l'utilisateur. Cet outil apporte une aide à la décision mais ne la fige pas.

Le modèle de couverture de la charge a été implémenté à l'aide du solveur libre de programmation linéaire en nombre entier GLPK (GLPK, 2005a), en utilisant le langage de modé-

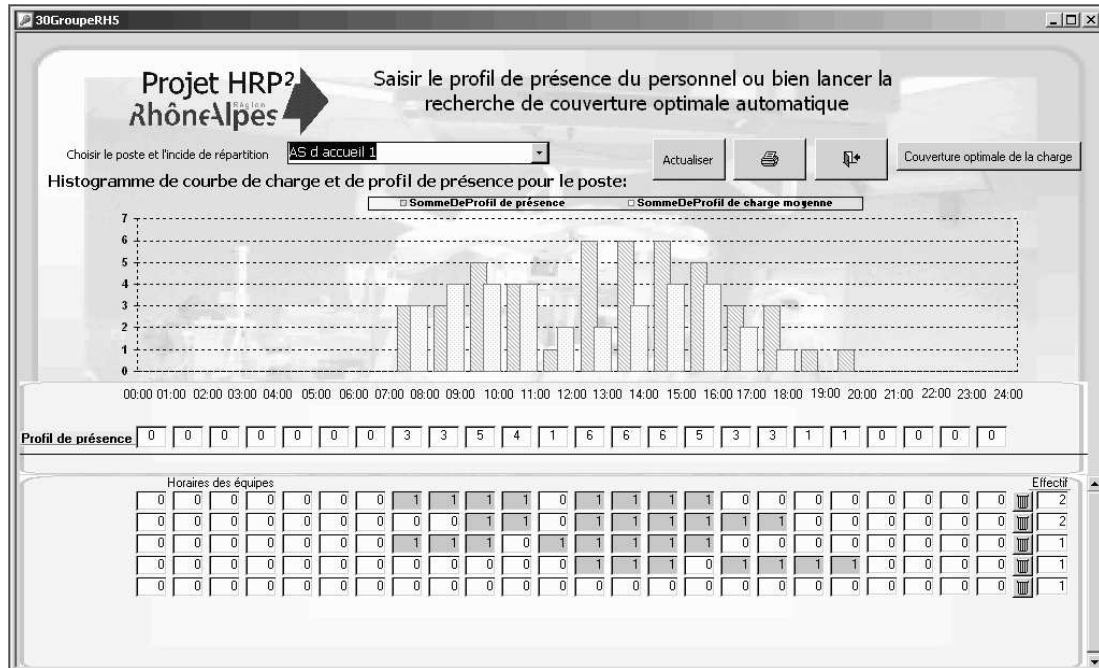


FIG. 5.6 – Interface de restitution du calcul des vacances et d’ajustement

lisation MathProg (GLPK, 2005b). Le lien entre les interfaces de saisie définies sous Microsoft Access et le modèle d’optimisation a été réalisé en Visual Basic.

5.4.2 Proposition d’une approche hybride

Inconvénients des approches existantes

Les approches de construction de vacances présentées au chapitre 3, qu’elles soient implicites (Dantzig, 1954; Morris et Showalter, 1983; Buffa *et al.*, 1976; McGinnis *et al.*, 1978; Bechtold et Jacobs, 1991) ou explicites (Moondra, 1976; Bechtold et Jacobs, 1990; Thompson, 1995; Musliu *et al.*, 2004; Partouche, 1998), cherchent à couvrir une courbe charge de travail exprimant le nombre d’employés requis à chaque période de l’horizon de planification en minimisant les coûts liés aux vacances. Le critère d’optimisation est généralement basé sur la différence entre la courbe de charge et la courbe de présence des personnels construite à partir des vacances sélectionnées (méthodes explicites) ou générées (méthodes implicites). Certaines approches (Thompson, 1993) autorisent la couverture incomplète de la charge et cherchent à minimiser le sur et le sous-effectif par rapport à un niveau de personnel requis cible.

Ces approches d’optimisation présentent deux principaux inconvénients :

1. la qualité de la couverture, et donc des vacances construites, est fortement reliée à la courbe de charge que l’on cherche à couvrir. La courbe exprimant généralement le besoin moyen en personnel, il est rare que des auteurs proposent une méthode pour l’obtenir. Il est par ailleurs difficile de savoir a priori si le choix d’une courbe moyenne est pertinent, ou si une courbe traduisant la charge médiane voire un autre percentile serait plus appropriée.
2. le critère d’optimisation qui est le coût engendré par les vacances n’est pas suffisant pour évaluer la réelle qualité de la solution. Lorsque l’organisation étudiée est soumise

à une variabilité dans l'arrivée et le traitement des demandes, comme dans le cas des blocs opératoires, des vacances couvrant la charge moyenne peuvent conduire à proposer un effectif insuffisant certains jours à certaines heures et un surplus d'effectif inutile à d'autres moments. Le surplus, mais surtout le manque d'effectif, peuvent avoir des conséquences néfastes sur le fonctionnement du système en provoquant notamment des retards dans le traitement des demandes et en générant au final des dépassements horaires, dont le coût n'est pas à négliger. Ainsi des solutions fournies par des méthodes exactes cherchant à couvrir la charge moyenne pourraient se révéler inappropriées en pratique.

Des approches moins classiques utilisant la simulation pour le dimensionnement du personnel semblent dépasser une part des lacunes des approches de Recherche Opérationnelle. La simulation permet d'imiter le comportement d'un système. Comme le soulignent (Ernst *et al.*, 2004a), elle est souvent utilisée pour mener des analyses de type « *what-if* » sur différents scénarios. Cette technique est notamment efficace pour décrire un système et évaluer ses performances.

Dans le domaine hospitalier, certains auteurs utilisent la simulation pour le dimensionnement du personnel. Ils s'intéressent le plus souvent aux problèmes rencontrés dans les services d'urgences et dans les salles d'intervention d'urgence, qui gèrent une demande à forte nature stochastique (Kumar et Kapur, 1989; Draeger, 1992; Evans *et al.*, 1996; Rossetti *et al.*, 1999). Les approches proposées se basent sur la comparaison d'un nombre limité d'alternatives de calendrier de présence des personnels (moins d'une dizaine). Elles ne garantissent pas que les alternatives testées sont celles conduisant au meilleur résultat. Pour arriver à la solution optimale, il faudrait simuler l'ensemble des alternatives envisageables, ce qui nécessiterait un temps de calcul très long.

Face à ces constats, nous suggérons dans (Trilling *et al.*, 2006a) une approche qui propose une approximation de la courbe de charge et prend en considération pour la construction des vacances, outre le coût lié aux heures de présence du personnel, le coût lié aux heures supplémentaires générées par le dimensionnement. Cette approche hybride alliant méthode d'optimisation et simulation a été élaborée en étroite collaboration avec le Laboratoire d'Analyse des Systèmes de Production Industriels (LASPI) de Roanne, qui détient une expertise fine en simulation et plus particulièrement sur le logiciel de simulation de flux SIMAN-ARENA.

L'approche proposée est basée sur deux sous-modèles. Le premier modèle est un modèle de simulation de flux, permettant de générer une courbe de charge puis d'évaluer la performance d'un dimensionnement. Le second modèle est basé sur un modèle d'optimisation permettant de construire les vacances et d'élaborer un calendrier de présence des ressources. Ces deux sous-modèles sont utilisés dans un processus itératif. Avant de détailler cette approche, nous présentons le cas sur lequel elle a été appliquée.

Présentation du cas d'application

Pour l'expérimentation de cette approche, nous nous sommes intéressés au personnel transversal du PMT, et plus particulièrement au personnel chargé de la remise en état des salles d'intervention entre deux cas chirurgicaux. L'activité du bloc opératoire est planifiée en tenant compte des contraintes des ressources les plus critiques que sont les salles d'intervention, les chirurgiens et les équipements chirurgicaux lourds. Si des programmes opératoires peuvent être proches d'un jour sur l'autre, des facteurs liés à l'état du patient, à la dextérité du chirurgien et à des aléas imprévisibles, font que les activités de nettoyage et les activités logistiques

présentent une forte variabilité au cours de la journée et d'un jour à l'autre. Ces activités sont assurées par les Aides Soignants (AS) et les Agents de Service Hospitaliers (ASH).

Modèle de simulation

Le modèle de simulation implémenté pour cette étude est moins étendu que celui du démonstrateur, et ne retient que les activités impactant la charge de travail des AS et des ASH. Il constitue une instanciation du modèle de processus générique (voir Annexe C) en couvrant le processus patient, le processus de nettoyage des salles, le processus de nettoyage de la table d'opération, et le processus d'évacuation des déchets. L'organisation que nous avons choisie correspond à la pratique observée chez l'un de nos partenaires hospitaliers (le CHU de Saint-Etienne).

Pour les activités de nettoyage, les demandes arrivent lorsqu'une intervention est terminée. Dans notre cas d'application, un AS et un ASH travaillent en parallèle : tandis que l'AS nettoie les équipements (scialytique, microscopes, écran, etc.), l'ASH évacue de la salle les dispositifs médicaux et les linges utilisés au cours de l'opération ; lorsque l'AS est sorti de la salle avec la table d'opération à nettoyer, alors l'ASH peut commencer le nettoyage des sols. A la fin de ce processus, la salle est prête à accueillir un nouveau patient.

Les activités logistiques incluent différentes tâches qui arrivent au cours de la journée indépendamment du flux de patient. Il s'agit pour les AS de réceptionner et mettre en rayon les dispositifs médicaux, et pour les ASH d'évacuer du PMT les chariots de déchets et de linges souillés.

Nous ne rentrons pas dans les détails du modèle de simulation que le lecteur pourra retrouver dans (Trilling *et al.*, 2006a). Ce modèle est utilisé non seulement pour obtenir la courbe de charge traduisant les besoins en personnels par période, mais également pour évaluer la performance d'une couverture de cette charge.

Évaluation de la performance d'une couverture

Pour évaluer la qualité de la couverture de la charge obtenue par le modèle d'optimisation, nous avons défini deux indicateurs de performance basés sur les coûts. Ces indicateurs dépendent de la couverture de la charge de travail des AS et des ASH. Le coût total d'une solution peut être séparé en deux termes :

- Le coût du personnel standard (CPS), qui est la somme des heures travaillées par les équipes de nettoyage dans le cadre des vacations, multiplié par un coût horaire (40 €).
- Le coût indirect (CI) qui représente le coût engendré par les dysfonctionnements liés au dimensionnement du personnel. Ce coût comprend le coût des heures de sur-utilisation de bloc opératoire évaluées à 230 € par heure (Teil, 2000) et les heures supplémentaires d'une équipe de nettoyage (40 € par heure).

Les indicateurs de performances sont obtenus en lançant une campagne de simulation sur le modèle de simulation utilisé pour obtenir la courbe de charge, enrichi de contraintes de disponibilité des ressources. Ces deux indicateurs évoluant dans des directions opposées, l'objectif est de trouver le dimensionnement qui garantisse le meilleur compromis.

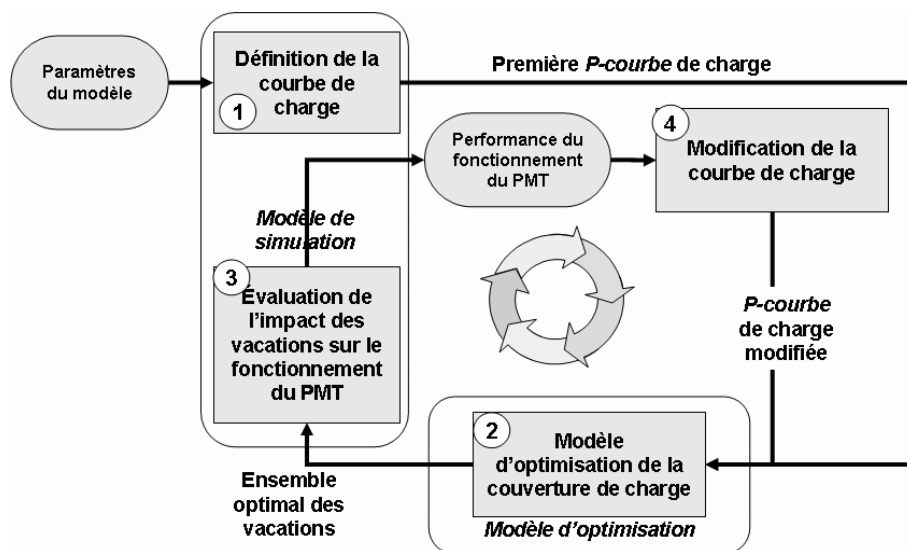


FIG. 5.7 – Approche hybride pour la construction des vacances basée sur le modèle de couverture de charge

Approche hybride basée sur la couverture de la charge

L'approche hybride que nous proposons est illustrée par la figure 5.7 et comporte plusieurs étapes :

1. Une première courbe de charge est générée par le modèle de simulation à capacité infinie. Cette courbe exprime le besoin moyen en personnel pour chaque période de la journée calculé sur un grand nombre de simulations (environ 500). Cette courbe est désignée comme étant une *P-courbe* où P est le paramètre de l'équation 5.2 qui correspond au pourcentage de la courbe de charge moyenne à couvrir. Pour cette première *P-courbe*, P est valué à 100% soit 1.
2. La *P-courbe* est l'entrée d'un modèle d'optimisation basé sur la programmation linéaire, qui calcule la couverture optimale de la *P-courbe*. La matrice a_{ij} est élaborée à l'aide de l'algorithme d'énumération des vacances présenté dans la section 5.3 avec les hypothèses suivantes : les vacances ont une durée de 8 heures, peuvent inclure ou non une pause de une heure, et comprennent nécessairement deux heures de travail (respectivement une heure de travail) avant (respectivement après) la pause.
3. La performance de la couverture de la charge est évaluée par le modèle de simulation à capacité finie (effectif calculé précédemment) à l'aide des indicateurs CPS et CI.
4. Une heuristique crée une nouvelle *P-courbe* en modifiant la valeur du paramètre P . L'étape 4 boucle ensuite sur l'étape 2 en calculant la couverture de la nouvelle courbe. Le paramètre P est modifié en fonction de l'évolution des solutions précédentes. A la première itération P est décrémenté d'un pas de $S\%$ (par exemple 5%). Ensuite tant que la performance de la solution courante est meilleure que la performance de la solution précédente, on diminue la valeur de P toujours de $S\%$ (passe 1). Si la performance de la solution commence à se détériorer, la valeur de S passe à $S/2$, et l'on commence à incrémenter le paramètre P (passe 2), et ainsi de suite. La recherche de la valeur de P est arrêtée lorsque un nombre d'itérations a été atteint, ou lorsque l'amélioration de la performance de la solution n'est pas significative.

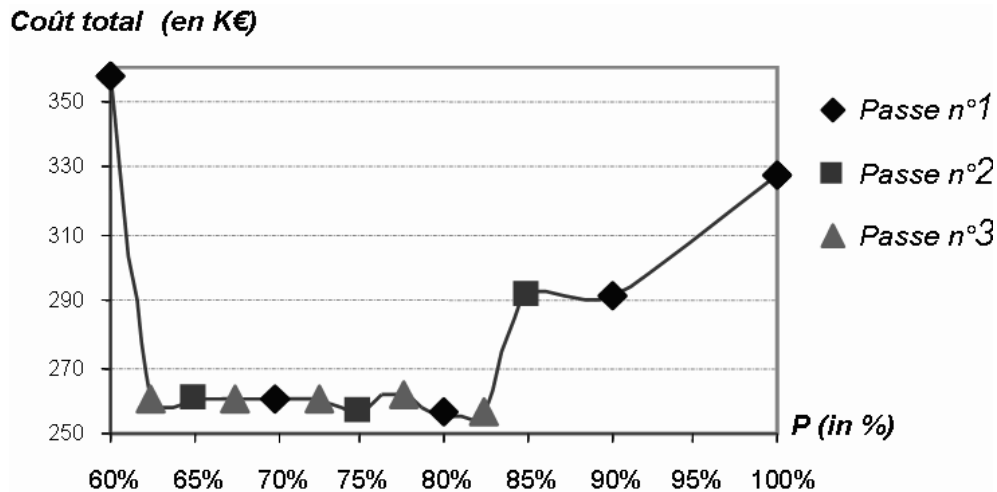


FIG. 5.8 – Résultats fournis par l'approche hybride basée sur la couverture de la charge

Les résultats de l'application de cette approche hybride sur le cas du dimensionnement du personnel transversal de nettoyage du PMT sont présentés sur le graphique de la figure 5.8. La meilleure performance du dimensionnement du personnel de nettoyage a été obtenue au bout de 20 minutes de calcul, pour une valeur de P de 82,5%. Sur le graphique, on observe que les solutions pour lesquels P est compris entre 62,5% et 82,5% sont très proches les unes des autres et peuvent être considérées comme équivalentes. Cependant à coût global identique, le décideur choisira naturellement une solution engendrant la plus petite partie de coût indirects liés aux dépassements horaires. Cette répartition des coûts est par ailleurs mieux acceptée par le personnel, qui préfère travailler pendant des heures régulières plutôt que d'assurer des heures supplémentaires. Le gain estimé de la couverture de la charge à 82,5% par rapport à la couverture de la charge à 100% est de 70 k€.

Approche hybride basée sur les temps d'attente

Les chercheurs du LASPI ont élaboré une autre approche hybride également discutée dans (Trilling *et al.*, 2006a), qui n'utilise plus le modèle de couverture d'ensemble pour la construction des vacances. Schématisé par le diagramme de la figure 5.9, le principe de cette approche est basé sur l'analyse des temps d'attente plutôt que sur une courbe de charge. En partant d'une solution très mauvaise comportant un très grand nombre de vacances par rapport aux besoins, une heuristique teste les solutions voisines qui réduisent le personnel disponible sur les périodes présentant le temps d'attente le plus petit et choisit celle qui offre le meilleur niveau de performance en termes de coûts (CPS et CI).

Comparaison des résultats

Le tableau 5.3 synthétise les résultats donnés par chacune des approches, en précisant le temps CPU nécessaire à l'obtention de la solution ainsi que le coût de personnel standard (CPS), le coût indirect (CI) et le coût total de la solution.

L'approche hybride basée sur la charge à couvrir arrive à trouver la solution optimale dans un temps plus court que celle basée sur l'analyse des temps d'attente. Cela s'explique par le fait qu'elle cherche à couvrir la charge de manière globale, ce qui limite le nombre de construc-

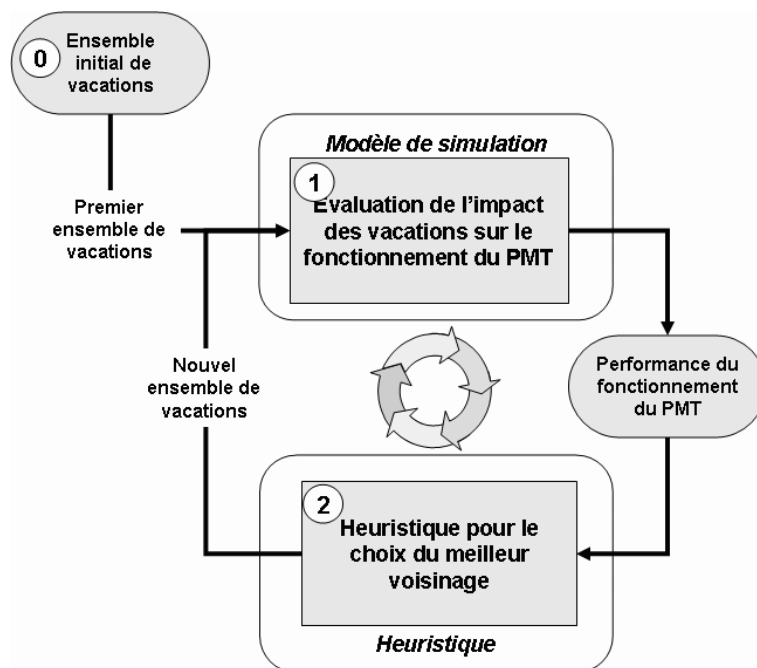


FIG. 5.9 – Approche hybride du LASPI basée les temps d’attente

Approche testée	CPU	CPS	CI	Coût total
Couverture simple	<i>qq sec</i>	327 000 €	0 €	327 000 €
Hybride basée sur la charge	<i>20 min</i>	255 000 €	3 000 €	258 000 €
Hybride basée sur les temps d’attente	<i>6 h</i>	182 000 €	32 000 €	214 000 €

TAB. 5.3 – Synthèse des résultats des approches de construction de vacances

tions de vacances évaluées. Si l’heuristique de modification de la courbe à couvrir ajustait la courbe indépendamment pour chaque période au lieu de la considérer dans la globalité, cela nous conduirait certainement à des résultats encore meilleurs. Cependant cela augmenterait considérablement le nombre de simulations nécessaires. L’approche basée sur l’analyse des temps d’attente semble donner les meilleurs résultats en termes de coûts, mais on peut noter une part importante donnée aux coûts indirects, qui traduit un certain dysfonctionnement du système (dépassement horaire). Néanmoins, cette approche présente l’avantage de réduire considérablement le nombre d’alternatives simulées, tout en justifiant leur sélection.

Ces résultats nous encouragent à penser que l’utilisation conjointe de la simulation et des techniques heuristiques est efficace pour dimensionner le personnel du bloc opératoire, d’autant plus que ces approches hybrides tiennent compte de la part de variabilité dans la charge de travail à assurer.

5.5 Conclusion

L’objectif de ce chapitre était de présenter une méthode basée sur la simulation de flux et sur la programmation linéaire en nombres entiers pour aider au choix d’organisation et au dimensionnement des ressources humaines du plateau médico-technique. Une approche hybride mettant en jeu ces deux techniques dans un processus itératif a été également proposée pour la construction des vacances. L’application de cette approche sur le cas des personnels de nettoyage, nous a permis de souligner les gains apportés par la prise en compte des coûts

indirects dans l'évaluation d'un dimensionnement.

Pour le développement du démonstrateur, qui est un prototype, nous avons opté pour une méthode de construction des vacations basée sur une approche par couverture, qui se rapproche de l'approche hybride, avec cependant un processus d'ajustement manuel de la courbe de charge (paramètre de pourcentage P). Nos travaux futurs nous conduiront à enrichir l'outil développé en augmentant le degré de finesse d'ajustement de la charge, et en considérant la charge idéale à couvrir, période par période et non plus globalement sur la journée. Il s'agira alors de déterminer indépendamment pour chaque période le pourcentage minimum de la charge moyenne à couvrir.

Les résultats du problème de construction des vacations fournissent les entrées du problème de construction des plannings des personnels. Ceci nous amène dans la phase de pilotage et d'exploitation du plateau médico-technique. Dans les deux chapitres qui suivent nous partons du principe que les besoins en vacations sont connus. La détermination de l'effectif à partir des besoins en vacations (en supposant une charge lissée sur les jours de la semaine), que nous exposons en annexe D, est également un préalable à l'élaboration des plannings.

Chapitre 6

Modèle de planification des infirmiers anesthésistes

Ce chapitre est consacré à la présentation, la modélisation et la résolution du problème de planification des infirmiers anesthésistes diplômés d'État (IADE) qui sont les personnels les plus souvent mutualisés dans un plateau médico-technique. Sur un horizon de planification donné, des affectations individuelles journalières doivent être définies parmi différentes vacations possibles. Les infirmiers sont considérés comme polyvalents et l'objectif recherché est l'équité dans la distribution de leurs tâches. Deux approches pour la modélisation et la résolution sont proposées et comparées : la programmation linéaire en nombres mixtes (PLM) et la programmation par contraintes (PPC). Dans le cadre de cette étude, la programmation linéaire montre une supériorité dans l'optimisation de la valeur de la fonction objectif, mais aussi en terme de temps de calcul. Plusieurs solveurs de programmation linéaire sont testés afin de conclure quant à l'applicabilité d'un solveur libre pour la résolution de ce problème de construction de plannings.

Dans le chapitre 2, nous avons défini quels sont les différents types de personnels soignant travaillant au sein du plateau médico-technique, ainsi que les différentes organisations du travail observées dans la pratique. Nous avons montré qu'il existe une grande variété de problèmes, selon le type de personnel considéré, la nature de ses tâches, la politique de l'établissement, et l'organisation du travail. Dans le chapitre 3, nous avons défini les différents problèmes d'élaboration de plannings et indiqué les principales approches de résolution abordées dans la littérature. Dans le chapitre 5, nous avons établis une démarche pour l'obtention d'une courbe de charge et pour la construction des vacations, nécessaires au dimensionnement de l'effectif et à l'élaboration de la table des besoins. Le présent chapitre se focalise sur un problème de planification du personnel du bloc opératoire, se basant sur un effectif et une table des besoins déterminés. Les personnels considérés sont les infirmiers anesthésistes (IADE), une des catégories de personnel les plus mutualisés de par leur activité transversale au sein du bloc opératoire, à travers les spécialités et tout au long du processus de soins du patient. Par mutualisation, il faut entendre mise en commun des ressources humaines pour satisfaire un besoin en personnel. Bien que la nature de leur travail les amène à se spécialiser dans la prise en charge de l'anesthésie de certaines spécialités par rapport à d'autres, ils restent néanmoins

le plus souvent polyvalents. Cette polyvalence des personnels accroît le nombre de possibilités d'affectation aux activités, et laisse ainsi plus de marge de manœuvre dans la réalisation des plannings. La polyvalence des personnels constitue néanmoins une contrainte additionnelle à prendre en compte : le maintien des compétences dans chaque spécialité et sur chaque type d'activité nécessaire à la polyvalence passe nécessairement par une pratique régulière. Celle-ci est rendue possible si une attention particulière est portée à l'harmonisation de la répartition des tâches entre les personnels et à leur affectation régulière sur les différentes spécialités. Le modèle que nous proposons tient compte de cette nécessaire homogénéité dans la répartition des tâches, non seulement dans les contraintes à considérer mais aussi dans l'objectif à optimiser.

Dans la littérature, un grand nombre de méthodes ont été employées pour résoudre le problème de construction de plannings infirmiers. Parmi celles-ci, notre attention s'est portée sur la programmation linéaire en nombres mixtes (PLM) et la programmation logique par contraintes (PPC), qui ont montré leur efficacité dans des problèmes d'affectation se rapprochant de celui qui nous intéresse dans ce chapitre. Dans (Jaumard *et al.*, 1998) les auteurs présentent un modèle de génération de colonnes généralisée binaire qui cherche à satisfaire la couverture d'une demande tout en minimisant les coûts liés aux salaires et en maximisant les préférences des infirmiers, ainsi que l'équilibre entre les employés. Dans leur approche, outre l'affectation des vacations aux employés, les auteurs prennent en compte la sélection des vacations ainsi que le dimensionnement des besoins pour chacune d'elles (*Staffing problem*), qui sont considérées comme des données d'entrée de notre problème. Cependant l'objectif recherché est similaire à celui que nous considérons, avec un aspect coût additionnel que nous n'intégrons pas. Les approches par PPC adoptent généralement une modélisation du problème sous forme de variables entières et non plus binaires. Weil *et al.* (1995) réduisent la complexité du problème en éliminant les valeurs interchangeables, faisant chuter le nombre de valeurs considérées pour chaque variable de 10 à 4. D'autres auteurs (Abdennadher et Schlenker, 1999) proposent une approche en trois phases : distribution des repos, distribution des nuits, distribution des matins et des soirs. En dehors du domaine médical, mais s'appliquant au personnel au sol d'une compagnie aérienne, Partouche (1998) propose une comparaison des approches PLM et PPC pour le problème central de construction de grilles cycliques. Dans ce problème de planification cyclique multi-vacations (Matin/Soir/Nuit) intégrant des vacations de 8 heures, qui requiert le respect des contraintes rigides (couverture de charge, réglementation du travail) ainsi que le respect « autant que possible » des contraintes flexibles (repos consécutifs, rythme de travail, repos du week-end), la PPC semble être plus efficace. Nous proposons une comparaison similaire des deux approches (PLM et PPC), mais cette fois-ci portant sur un problème de planification non cyclique, multi-vacations avec des durées de vacations allant de 8 heures à 12 heures de travail.

Dans un premier temps, nous décrivons le problème de construction de planning que nous considérons, à savoir le problème de planification des infirmiers anesthésistes (PPIA)(section 6.1). Ce problème est inspiré du fonctionnement du Centre Hospitalier de Valence, mais pourrait être appliqué à d'autres établissements ayant choisi une organisation similaire du pool d'IADE. Cette section présente les types de vacations à affecter, les règles de planification, les contraintes à respecter et les critères pris en compte. Dans une seconde section (6.2), nous proposons de modéliser ce problème sous la forme d'un programme linéaire en nombres mixtes (approche PLM) puis sous la forme d'un problème de satisfaction de contraintes (approche PPC). Dans une troisième section (6.3), ces deux approches sont comparées. Nous proposons ensuite de tester l'utilisation de différents solveurs de programmation linéaire afin de tester l'applicabilité d'un solveur libre pour la résolution de ce problème (6.4).

6.1 Description du problème

L'affectation des infirmiers aux différentes activités sur un horizon de plusieurs jours est une tâche difficile et coûteuse en temps, qui est bien souvent réalisée manuellement par les cadres de santé. Elle doit respecter de nombreuses contraintes (réglementation du travail, charge prévisionnelle, compétences, préférences individuelles, etc.), tout en optimisant l'équité dans le travail. Le regroupement des ressources matérielles sur le plateau médico-technique et la formation de pool de personnel, augmente considérablement la complexité du problème de planification de ces personnels, et renforce le besoin d'outils d'aide à l'élaboration des plannings. Cette section s'attache à décrire les particularités de l'activité des IADE, ainsi que la stratégie de gestion du personnel choisie dans notre exemple, puis, elle énonce les contraintes législatives sur le temps de travail.

6.1.1 Description de l'activité des IADE (Infirmiers Anesthésistes Dipl. d'État)

Les infirmiers anesthésistes diplômés d'État (IADE) sont les proches collaborateurs des médecins anesthésistes réanimateurs (SFAR, 2002). Ils interviennent à différents stades du processus de prise en charge du patient, sur le site d'anesthésie, en salle de soins post-interventionnels (SSPI) et dans les unités d'hospitalisation. Ils assurent diverses fonctions et principalement :

- La prise en charge des malades en salle, la préparation et le contrôle de l'anesthésie ;
- La supervision de la SSPI.

Dans les établissements ayant une fonction d'accueil des urgences chirurgicales, une continuité du service doit être assurée pour l'activité de préparation et de contrôle de l'anesthésie. Les postes correspondent donc à des horaires différents (travail de jour, travail de nuit). L'affectation aux postes peut être journalière, hebdomadaire, mensuelle, annuelle, voir pluriannuelle, cela dépend du degré de polyvalence des infirmiers, du niveau de mutualisation des ressources et de la politique d'affectation choisie par l'hôpital, les cadres de santé et les employés.

Le problème présenté dans cette section est issu d'une situation de terrain observée dans un hôpital français, dont le plateau médico-technique est composé de 9 salles d'intervention. Dans cet hôpital, les infirmiers travaillant à temps complet ou à temps partiel sont tous polyvalents et peuvent être affectés indifféremment à l'une ou l'autre des vacations du tableau 6.1.

Type de vacation	Abréviation	Horaire
Journée anesthésie réglée	JR	8 :00 - 16 :00
Journée anesthésie d'urgence	JU	8 :00 - 20 :00
Nuit anesthésie d'urgence	NU	20 :00 - 8 :00
Supervision de la SSPI	SS	9 :00 - 17 :00 ou 11 :00 - 19 :00

TAB. 6.1 – Types de vacations et horaires associés

Les vacations d'urgences (JU et NU) doivent être assurées tous les jours de la semaine (samedi et dimanche compris), alors que les autres vacations ne concernent que les jours allant du lundi au vendredi. La supervision de la SSPI est assurée en décalé par deux IADE avec des horaires décalés afin de couvrir une plus grande durée de supervision de la SSPI. Par la suite, cette différence d'horaires n'engendrant pas de contraintes supplémentaires, nous

ne différencions pas les horaires décalés et considérons un seul poste qui nécessite plusieurs personnes pendant 8 heures de travail. La surveillance de la SSPI est assurée la nuit en semaine et le week-end 24 heures sur 24 par des infirmiers diplômés d'État (IDE) postés en réveil, dont la planification constitue un problème indépendant.

6.1.2 Stratégie de gestion du personnel et organisation du travail

Plusieurs stratégies de gestion du personnel existent et dépendent des choix politiques de l'hôpital, mais aussi des négociations entre tous les acteurs impliqués dans les activités de chirurgie et d'anesthésie. Plusieurs paramètres entrent en jeu, dont la polyvalence des personnels, le degré de mutualisation, la définition des horaires, le choix d'organisation du travail.

Nous considérons une stratégie de gestion de personnel, inspirée du fonctionnement du Centre Hospitalier de Valence : le personnel IADE est totalement polyvalent et non cloisonné en équipes. Chaque employé peut donc réaliser toutes les activités et être affecté à tous les postes, tous les jours et à tous les horaires. Pour la prise en charge des urgences, les gardes sur place (nuit et jours chaumés) ont été préférées au système d'astreintes.

La réduction du temps de travail impose d'appliquer les 35 heures de travail par semaine. Afin d'être plus en adéquation avec la charge de travail, l'établissement peut décider d'augmenter le nombre d'heures de travail par semaine et d'augmenter également les récupérations du temps de travail (RTT). Dans l'exemple que nous considérons, le personnel travaille en moyenne 38 heures par semaine, et a droit à 18 jours de RTT en plus des 28 jours de congés annuels.

La réglementation prévoit qu'il faut accorder aux employés au minimum 11 heures consécutives de repos journalier et 4 jours de repos pour 14 jours de travail dont deux jours consécutifs. Les heures supplémentaires sont normalement très occasionnelles, puisque l'on considère que s'il y a dépassement des interventions de chirurgie réglée après 15h30, l'équipe d'urgence prend le relais (si elle est disponible), ou l'IADE de SSPI (si il est disponible).

Les heures supplémentaires ne sont pas payées mais récupérées. Au maximum 45 minutes de dépassement sont tolérées par la badgeuse en place par rapport au temps de travail prévu. Si le temps de travail supplémentaire est supérieur à 45 minutes, le cadre de santé doit corriger le planning d'affectation des personnels soignants. Le temps supplémentaire est alors récupéré sur un autre jour présentant une charge de travail inférieure (programme opératoire plus court).

6.1.3 Mode de planification

Le planning des infirmiers anesthésistes est construit par le cadre de santé en suivant un processus non cyclique, bien que les besoins varient peu d'une semaine à l'autre. En premier lieu, le cadre de santé collecte les desiderata des infirmiers concernant les jours de congés, puis il élabore le planning qui satisfait toutes les contraintes tout en prenant en compte les préférences personnelles. Étant donné que les infirmiers sont sujets à un temps de travail annualisé, le surplus de temps travaillé au cours d'une semaine est rééquilibré sur les semaines qui suivent par une charge inférieure.

Dans cette organisation un processus de planification non cyclique a été préféré à une plani-

fication cyclique, qui se trouve être plus rigide et moins flexible face aux changements. Certes, les besoins varient peu d'une semaine à l'autre (hormis pendant les périodes de vacances scolaires) car le programme opératoire journalier prévoit l'ouverture d'un nombre relativement constant de salles, et les vacations d'urgences doivent être assurées chaque jour. Cependant, il arrive que des salles ne soient finalement pas ouvertes (plage opératoire non remplie, chirurgien en formation, etc.), ce qui modifie la table des besoins, et rend la planification non cyclique plus adaptée. Ce type de planification est également plus flexible en ce qui concerne la prise en compte des préférences des personnels au niveau des jours de congés. Celles-ci sont considérées a priori et sont respectées dans la mesure du possible. Nous considérons ici un effectif fixé correspondant à l'équipe en place.

6.1.4 Critère à optimiser

L'objectif recherché dans la résolution du problème est de générer un planning des infirmiers anesthésistes qui respecte les réglementations du temps de travail et les désirs des personnels (jours de congés, etc...) tout en maximisant l'équité de la répartition de la charge travail dans l'affectation aux différents postes. En effet, il est primordial de faire tourner régulièrement le personnel sur différentes activités afin d'équilibrer la charge de travail entre les agents, mais aussi dans le but de maintenir les compétences de chaque infirmier.

Afin de produire le planning le plus équitable possible entre les infirmiers, les vacations les plus populaires et les vacations les moins populaires doivent être réparties d'une manière équilibrée, en tenant compte de la difficulté liée à la réalisation de chaque activité. Afin de traduire la popularité des vacations, nous avons associé une pénibilité à chaque type de vacation et à chaque jour de la semaine. Ces pénalités sont comprises dans l'intervalle $[1, 2]$ (tableau 6.2). Les valeurs des pénibilités de chaque poste ont été élaborées en traduisant les connaissances du cadre de santé d'anesthésiologie. Selon lui, on peut classer les pénibilités P des vacations de la moins pénible à la plus pénible de la manière suivante :

$$P(JR) < P(JU) < P(NU) < P(SS)$$

Il peut paraître surprenant que le poste de surveillance de SSPI soit plus pénible à occuper que celui de Nuit Urgence. Ceci est dû au fait que l'activité de SSPI, assuré par un personnel limité pour quatorze places, est beaucoup plus morcelée dans le temps et demande une grande vigilance à cette phase souvent critique de réveil. Les postes d'urgence, de journée ou de nuit, bien qu'étant des horaires de 12 heures sont finalement plus appréciés des infirmiers (charge concentrée sur peu de jours de la semaine, repos compensateur). Enfin, la vacation de Journée Régulée, qui correspond à l'activité de surveillance de l'anesthésie en salle d'intervention se révèle la plus commode au niveau des horaires et de l'activité. Elle possède donc la pénibilité la plus faible.

Type de vacation	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim
Journée réglée (JR)	1	1	1	1	1	0	0
Journée Urgence (JU)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4
Nuit Urgence (NU)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6
SSPI (SS)	1,6	1, 6	1,6	1,6	1,6	0	0

TAB. 6.2 – Tableau de pénibilité des postes selon le jour de la semaine

6.1.5 Contraintes

Pour l'élaboration du planning, certaines règles sont à respecter. Elles sont issues de la réglementation mais également des accords convenus entre responsables et employés. Dans le cas de l'hôpital que nous étudions, les contraintes que le planning doit satisfaire sont les suivantes :

- C1** Les besoins journaliers en nombre d'IADE pour chaque poste doivent être respectés afin de correspondre à la charge de travail.
- C2** Le temps de travail par jour ne doit pas excéder 12 heures.
- C3** Le temps de travail par semaine doit s'approcher de 38h. Il peut le dépasser dans la limite de 48h par semaine.
- C4** Par semaine, un employé ne doit pas travailler plus de trois nuits.
- C5** Travailler le samedi de jour JU (respectivement de nuit NU) implique que le dimanche est travaillé de jour JU (respectivement de nuit NU) et que le lundi et le mardi suivants sont des repos compensateurs.
- C6** Des contraintes de succession d'activités qui permettent entre autre de garantir un repos journalier minimum de 11 heures (figure 6.1), sont à respecter :
 - Si un infirmier est affecté à une nuit d'urgence NU en semaine, alors le lendemain est un repos.
 - Si un infirmier est affecté à une journée d'urgence JU en semaine, alors le lendemain est soit une nuit d'urgence, soit un repos. Les besoins pour les vacations JU étant deux fois plus grands que pour les vacations NU, la moitié des infirmiers assurant une JU un jour donné sera affectée à une NU le lendemain, les autres seront au repos.

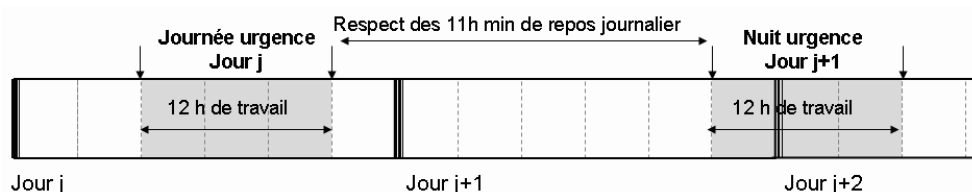


FIG. 6.1 – Illustration de la contrainte C6

Les contraintes C1, C2, C3 et C4 sont considérées comme des contraintes obligatoires que doit respecter tout planning (*hard constraints*). Les contraintes C5 et C6 expriment des nécessités de repos journalier et de repos hebdomadaire ainsi que des règles issues de « bonnes pratiques » (travail le week-end complet, repos après une nuit), dites *soft constraints*. Notre objectif est d'aboutir à un planning maximisant la satisfaction du personnel, pour cette raison nous cherchons une solution satisfaisant l'ensemble de ces contraintes, qui deviennent toutes obligatoires.

Dans la section qui suit, nous proposons deux approches pour la résolution du problème de planification des infirmiers anesthésistes (PPIA). La première se présente sous la forme d'un programme linéaire à variables entières et continues (variables mixtes) (PLM). La seconde est une formulation de ce problème comme un problème de satisfaction de contraintes à l'aide de la programmation logique par contraintes (PPC).

6.2 Modélisation

6.2.1 Les données du problème

Ensembles et indices du problème

- $\mathcal{I}$ = Ensemble des indices représentant les infirmiers dont il faut créer l'emploi du temps ; $i \in \mathcal{I} = \{1, \dots, N\}$
- $\mathcal{W}$ = Ensemble des indices représentant les semaines de l'horizon de planification ; $w \in \mathcal{W} = \{1, \dots, W\}$
- $\mathcal{H}$ = Ensemble des indices représentant les jours de l'horizon de planification ; $j \in \mathcal{H} = \{1, \dots, H\}$ où $H = 7 \times W$
- $\mathcal{K}$ = Ensemble des indices représentant les vacations à affecter à chaque période de la journée de travail ; $k \in \mathcal{K} = \{1, \dots, K\}$

Paramètres

- N = Nombre d'infirmiers considérés dans l'effectif à planifier
- H = Nombre de jours de l'horizon de planification
- W = Nombre de semaines de l'horizon de planification
- K = Nombre de vacations possibles
- b_{jk} = Besoin maximum en personnel pour le jour j et la vacation k
- p_{jk} = Pénibilité associée à la vacation k le jour j
- R_i = Régime de travail de l'infirmier i ($= 1$ pour un temps complet, < 1 pour un temps partiel)
- T = Temps de travail réglementaire pour la semaine considérée (38 heures par semaine)
- T_{max} = Temps de travail réglementaire maximum autorisé (48 heures par semaine)
- n_k = Nombre d'heures travaillées durant la vacation k

6.2.2 L'approche PLM (Programmation linéaire mixte)

Variables

Dans la formulation du PPIA sous forme d'un programme linéaire à variables mixtes, les principales variables de décision sont les variables binaires X_{ijk} qui correspondent à l'affectation de l'infirmier i le jour j à la vacation k et prennent la valeur 0 ou 1 :

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si l'infirmier } i \text{ est affecté à la vacation } k \text{ le jour } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Lorsque le jour j , l'infirmier i est au repos, nous avons :

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} X_{ijk} = 0$$

D'autres variables, continues cette fois-ci, sont nécessaires pour la modélisation de ce problème. Il s'agit de la pénibilité totale de l'infirmier le plus chargé P_{max} et celle de l'infirmier le moins chargé P_{min} . Ces deux variables seront utilisées dans la fonction objectif.

Contraintes

Il n'est pas aisé de formuler certaines contraintes en programmation mathématique, en particulier celles concernant la succession d'activité (une vacation JU suivie soit d'une vacation NU soit d'un repos). Pour cette raison nous avons introduit un nouveau type de vacation JU' et scinder les besoins en vacations de journée d'urgence en deux : la moitié des personnes nécessaires se verront affecter une JU' et devront enchaîner le lendemain sur une NU, l'autre moitié se voyant affecter une JU et enchaînant sur une journée de repos. Ceci nous amène à considérer non plus 4 mais 5 vacations possibles : JR ($k = 1$), JU ($k = 2$), JU' ($k = 3$), NU ($k = 4$) et SS ($k = 5$).

Toutes les contraintes exprimées ici sont considérées comme des contraintes obligatoires que nous allons chercher à satisfaire.

Les contraintes de couverture **C1** sont exprimées par l'équation 6.1. La couverture doit être exacte, sans manque de personnel ni d'excédent.

$$\sum_{i=1}^N X_{ijk} = b_{jk} \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall k \in \mathcal{K} \quad (6.1)$$

Les contraintes **C2** limitant le nombre d'heures travaillées par jour sont traduites par l'équation 6.2 qui autorise l'affectation d'une seule vacation par jour et par infirmier :

$$\sum_{k=1}^K X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{H} \quad (6.2)$$

Les contraintes **C3**, concernant la limite des heures travaillées par semaine sont formulées en prenant en compte le régime de travail R_i de l'employé i , ainsi que le nombre d'heures n_k travaillées durant la vacation k :

$$\sum_{j=7w-7+1}^{7w} n_k X_{ijk} \leq T_{max} R_i \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (6.3)$$

Les contraintes **C4**, limitant le nombre de nuits ($k = 4$) par semaine, sont exprimées à l'aide de l'indice w correspondant à la semaine.

$$\sum_{j=7w-6}^{7w} X_{ij4} \leq 3 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (6.4)$$

Les contraintes **C5**, concernant le travail du week-end nécessitent plusieurs équations :

– La même vacation est affectée aux deux jours du week-end, ou bien le week-end est au repos :

$$X_{i(7w-1)k} - X_{i(7w)k} = 0 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W}, \forall k \in \{3, 4\} \quad (6.5)$$

– Après un week-end travaillé les deux jours suivants sont au repos :

$$X_{i,(7w),k} + \sum_{k'=1}^K X_{i,(7w+d),k'} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \{1, \dots, W-1\}, \forall k \in \{3, 4\}, \forall d \in \{1, 2\} \quad (6.6)$$

Les contraintes de succession d'activité **C6** concernent uniquement les jours de la semaine (hors week-end) :

- Chaque JU et chaque NU doivent être suivis par un repos :

$$X_{i,(7w-7+j),k} + \sum_{k'=1}^K X_{i,(7w-6+j),k'} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \{1, \dots, 5\}, \forall w \in \mathcal{W}, \forall k \in \{2, 4\} \quad (6.7)$$

- Chaque JU' doit être suivi par un NU :

$$X_{i,(7w-7+j),3} - X_{i,(7w-6+j),4} = 0 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \{1, \dots, 4\}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (6.8)$$

Finalement, l'intégration des préférences des infirmiers est rendue possible par l'ajout de contraintes forçant les variables X_{ijk} à prendre la valeur 0 pour les personnes désirant être en congés :

$$X_{ijk} = 0 \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (6.9)$$

Objectif

L'objectif de ce problème est de générer un planning dans lequel la charge est distribuée de manière équilibrée entre les infirmiers, en tenant compte de la difficulté (concentration, fatigue physique) liée à chaque tâche. Nous proposons de traduire cet objectif d'équité en utilisant des pénibilités, pour chaque jour j et chaque vacation k . Les valeurs de p_{jk} sont données dans le tableau 6.2. Ainsi la fonction objectif peut être formulée de la manière suivante :

$$\text{Minimiser } Z = P_{max} - P_{min} \quad (6.10)$$

où P_{max} est la borne supérieure de la pénibilité totale de chaque infirmier (correspondant à la pénibilité totale de l'infirmier le plus chargé) et P_{min} la borne inférieure. Ces bornes sont définies à l'aide des contraintes 6.11 et 6.12 :

$$P_{max} - \sum_{j \in \mathcal{H}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{X_{ijk} p_{jk}}{R_i} \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (6.11)$$

$$P_{min} - \sum_{j \in \mathcal{H}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{X_{ijk} p_{jk}}{R_i} \leq 0 \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (6.12)$$

Une autre formulation de l'objectif aurait pu être de minimiser la borne supérieure P_{max} de la pénibilité totale ou bien de maximiser la borne inférieure P_{min} de la pénibilité totale. Cependant après avoir fait une série de tests, nous avons remarqué que ces objectifs donnaient des résultats moins intéressants que l'objectif que nous proposons.

Résolution

Ce modèle a été validé en premier lieu à l'aide du solveur commercial LINGO 8.0 (LINDO, 2003), en résolvant le problème tel sur la base des données réelles de l'hôpital (besoin, effectifs, pénalités). L'algorithme de séparation évaluation (*Branch and Bound*) utilisé est construit à partir des règles qui sont propres au solveur et ne sont pas transparentes pour l'utilisateur.

6.2.3 L'approche PPC (Programmation par contraintes)

Le problème de planification des infirmiers est typiquement un problème de satisfaction de contraintes ou *Constraint Satisfaction Problem* (CSP), puisqu'il consiste à affecter une valeur d'un domaine fini à chaque variable d'un ensemble fini. Nous proposons donc de formuler le PPIA sous la forme d'un CSP et d'utiliser les mécanismes de programmation par contraintes (PPC) proposés par Ilog Solver pour le résoudre. Ce solveur de contraintes a été utilisé par de nombreux scientifiques avec succès pour résoudre certains problèmes de planification de personnel tels que le problème de construction de grilles de travail cycliques pour le personnel au sol d'une compagnie aérienne (Jacquet-Lagrèze et Partouche, 1996; Partouche, 1998) ou la planification d'infirmiers d'unité de soins (Heus, 1996; Weil *et al.*, 1995). Nous avons choisi d'utiliser Ilog Solver, bien que d'autres outils commercialisés tels que le langage de programmation par contraintes CHIP (Beldiceanu *et al.*, 1997) aient été utilisés par d'autres auteurs également avec satisfaction (Abdennadher et Schlenker, 1999).

Un problème de satisfaction de contraintes, que l'on appellera $\mathcal{P}$, peut se définir sous la forme $\mathcal{P} = (\mathcal{V}, \mathcal{D}, \mathcal{C})$ où :

- $\mathcal{V}$ désigne l'ensemble des variables contraintes du problème ($\mathcal{V} = \{X_1, \dots, X_n\}$);
- $\mathcal{D}$ désigne la fonction qui associe à chaque variable X_i son domaine $\mathcal{D}(X_i)$, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs que peut prendre X_i ;
- $\mathcal{C}$ désigne l'ensemble des contraintes du problème qui doivent être satisfaites portant sur les variables de $\mathcal{V}$.

Pour résoudre ce problème, nous devons trouver le n-uplet $(X_1, \dots, X_n)$ solution du problème qui satisfait l'ensemble de contraintes suivantes :

$$\mathcal{C} \wedge X_1 \in \mathcal{D}(X_1) \wedge \dots \wedge X_n \in \mathcal{D}(X_n)$$

Généralement, résoudre un problème de satisfaction de contraintes consiste à trouver une solution faisable qui satisfasse toutes les contraintes. D'autres utilisations sont possibles, telles que rechercher :

- l'existence d'une solution faisable,
- toutes les solutions faisables,
- le nombre de solutions faisables,
- la solution qui optimise la valeur d'un objectif.

Dans le but de comparer cette technique à la programmation linéaire en nombre mixtes, nous allons introduire une fonction objectif optionnelle qui guidera la recherche vers une solution optimisée.

Variables de décision

La formulation du PPIA sous forme d'un problème de satisfaction de contraintes, nous permet d'utiliser des variables non plus exclusivement binaires, mais entières, pour modéliser l'affectation des infirmiers aux vacances.

En effet l'écriture des contraintes nous permet de manipuler plus facilement les variables entières, ce qui n'est pas trivial en PLM. Nous définissons donc une variable de décision X_{ij} qui représente la vacation affectée à l'infirmier i le jour j . La variable X_{ij} peut prendre une valeur dans l'ensemble des vacances possibles, c'est-à-dire : JR (journée réglée), JU (journée d'urgence), NU (nuit d'urgence) et SS (supervision de la SSPI) ou bien un repos. Dans le cas

de la PPC nous n'avons pas besoin d'ajouter la vacation fictive JU' nécessaire à la traduction de la contrainte de succession d'activité **C6** dans la précédente approche. L'ensemble des valeurs que peut prendre chaque variable est donc $\mathcal{K} = 0, \dots, 4$, où 0 correspond à un repos, 1 à la vacation JR, 2 à la vacation JU, 3 à la vacation NU et 4 à la vacation SS.

$$X_{ij} \in \{0, \dots, 4\} \quad i \in \mathcal{I}, j \in \mathcal{H}$$

Contraintes

La plupart des contraintes énoncées dans l'approche PLM se retrouvent dans l'approche PPC. Cependant leurs écritures sous forme d'équations sont différentes. Par ailleurs, certaines contraintes ne sont plus nécessaires et d'autres doivent être ajoutées. Par exemple la contrainte **C2** limitant le nombre d'heures travaillées par jour (ou l'affectation d'une seule vacation par infirmier par jour) est inhérente au CSP puisqu'une variable ne peut prendre qu'une valeur dans le domaine.

Les contraintes de couverture **C1** sont formulées en utilisant la fonction $Card\{\alpha\}$ qui désigne le cardinal de l'ensemble α .

$$Card\{i \in \mathcal{I} | X_{ij} = k\} = B_{jk} \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall k \in \mathcal{K} \quad (6.13)$$

Les contraintes **C4** limitant le nombre de vacations de nuit pouvant être effectuées par semaine par infirmier sont également exprimées à l'aide de la fonction $Card\{\alpha\}$:

$$Card\{j \in \{7w - 6, \dots, 7w\} | X_{ij} = 3\} \leq 3 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (6.14)$$

Sans nécessiter l'ajout de la vacation fictive JU', les contraintes de succession d'activité **C5** s'écrivent très naturellement à l'aide de la fonction « si...alors... ». La contrainte portant sur le lendemain d'une journée d'urgence JU, qui peut être soit une nuit d'urgence NU soit un repos, s'écrit :

$$\text{si } X_{i(7w-7+j)} = 2 \text{ alors } \begin{cases} X_{i(7w-6+j)} = 3 \\ \text{ou } X_{i(7w-6+j)} = 0 \end{cases} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \{1, \dots, 4\} \quad (6.15)$$

De même la contrainte sur le repos nécessaire après une nuit d'urgence NU s'écrit :

$$\text{si } X_{i(7w-7+j)} = 3 \text{ alors } X_{i(7w-6+j)} = 0 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \{1, \dots, 5\} \quad (6.16)$$

Les contraintes **C6** portant sur le travail du week-end sont là encore exprimées à l'aide de la fonction « si...alors... » et de sa réciproque si nécessaire.

– La même vacation (JU, NU ou repos) est affectée aux deux jours du week-end :

$$\text{si } X_{i(7w)} = k \text{ alors } X_{i(7w-1)} = k \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W}, \forall k \in \{0, 2, 3\} \quad (6.17)$$

$$\text{si } X_{i(7w-1)} = k \text{ alors } X_{i(7w)} = k \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W}, \forall k \in \{0, 2, 3\} \quad (6.18)$$

– Après un week-end travaillé, les deux jours suivants sont des repos :

$$\text{si } X_{i(7w)} \neq 0 \text{ alors } \begin{cases} X_{i(7w+1)} = 0 \\ \text{et } X_{i(7w+2)} = 0 \end{cases} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \{1, \dots, W-1\} \quad (6.19)$$

La longueur des vacances étant variable (8 heures pour les vacances JU et SS, 12 heures pour les vacances JU et NU), afin d'exprimer les contraintes **C3** sur le temps de travail hebdomadaire, nous introduisons une nouvelle variable L_{ij} représentant le nombre d'heures travaillées par l'infirmier i le jour j . Cette variable prend sa valeur dans le domaine $D^L = \{n_0, \dots, n_4\}$ et cette valeur dépend de la valeur affectée à la variable X_{ij} . Par exemple, si X_{ij} est une nuit, alors L_{ij} sera égale à $n_4 = 12$:

$$\text{si } X_{ij} = k \text{ alors } L_{ij} = n_k \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall k \in \{0, \dots, 4\} \quad (6.20)$$

Avec cette variable additionnelle, les contraintes **C3** s'expriment :

$$\sum_{j=7w-7}^{7w} L_{ij} \leq T_{max} R_i \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (6.21)$$

Le principe de création de variable additionnelle est également appliqué pour calculer la pénibilité totale du planning de chaque infirmier. Nous introduisons donc la variable P_{ij} représentant la pénibilité associée à la vacation travaillée par l'infirmier i le jour j et prenant une valeur dans le domaine $D^P = \{0, 1, 1.2, 1.4, 1.6\}$. La valeur de P_{ij} dépend de la valeur affectée à la variable X_{ij} :

$$\text{si } X_{ij} = k \text{ alors } P_{ij} = p_{jk} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall k \in \{0, \dots, 4\} \quad (6.22)$$

Ainsi les bornes P_{max} et P_{min} sont définies par les équations 6.23 et 6.24 :

$$\sum_{j=1}^H \frac{P_{ij}}{R_i} \leq P_{max} \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (6.23)$$

$$\sum_{j=1}^H \frac{P_{ij}}{R_i} \geq P_{min} \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (6.24)$$

Objectif

Résoudre le problème de satisfaction de contraintes que nous avons énoncé consiste à sélectionner une valeur du domaine de définition de chacune des variables, de manière à satisfaire toutes les contraintes décrites ci-dessus. Néanmoins, notre objectif étant de trouver un planning qui minimise l'écart entre l'infirmier le plus chargé et l'infirmier le moins chargé ($P_{max} - P_{min}$), il est possible d'ajouter une fonction objectif dans la recherche de solution.

Dès que le solveur a trouvé une solution qui satisfait toutes les contraintes, une contrainte supplémentaire est ajoutée. Cette contrainte fixe la borne supérieure (dans notre cas de minimisation) de la fonction objectif à la valeur de cette solution. Lorsqu'une nouvelle solution satisfaisant ce nouvel ensemble de contraintes est obtenue, la valeur de la borne prend la valeur de la solution. La valeur maximale de l'objectif change à chaque nouvelle solution.

Recherche de solutions

Tout comme d'autres solveurs de contraintes, Ilog Solver utilise les contraintes définissant le problème, pendant la recherche de solutions. Le mécanisme de propagation de contraintes

permet de réduire dynamiquement la taille de l'espace de recherche en cours de résolution : les domaines des variables sont réduits par la suppression des valeurs qui sont inconsistantes, c'est-à-dire qui conduisent à une solution non faisable.

En programmation par contraintes, l'ordre dans lequel les variables sont choisies et l'ordre dans lequel les valeurs sont essayées a un fort impact sur l'efficacité de la résolution (?). Ilog Solver nous fournit un algorithme de recherche non déterministe dans lequel ces ordres sont paramétrables. Afin de rendre la résolution la plus efficace possible, il est fortement recommandé de définir une stratégie de résolution adaptée au problème considéré, qui guide la recherche de manière à trouver le plus rapidement une solution qui satisfasse toutes les contraintes et donne une bonne valeur d'objectif dès la première itération. Une stratégie peut se définir comme un ensemble de choix (Partouche, 1998) : le choix de la variable à instancier, le choix de l'ordre dans lequel se présentent les valeurs du domaine, le choix de la valeur à choisir dans le domaine. Après une série d'essais sur les différents choix, nous avons opté pour la stratégie suivante :

- **Choix de la variable** : la fonction standard d'Ilog Solver (`IlcGenerate`) parcourt les variables non instanciées dans l'ordre dans lequel elles se présentent. Cet ordre dépend de la manière dont sont déclarées les variables dans l'appel de la fonction. Dans notre cas, nous avons choisi de parcourir les variables jour par jour dans l'ordre chronologique, puis infirmier par infirmier en suivant la liste des infirmiers dans l'ordre croissant. Nous avons également essayé de commencer à affecter les jours du week-end en premier lieu puis de s'attaquer aux jours de la semaine, mais les résultats étant moins bons, nous avons conservé le premier ordre. Une variable est considérée comme non instanciée lorsque son domaine comporte deux valeurs ou plus. Si le domaine est réduit à une valeur, alors la variable est considérée comme instanciée.
- **Choix de l'ordre des valeurs** : une fonction pour le choix de la valeur à instancier ayant été développée, l'ordre dans lequel se présentent les valeurs dans le domaine n'importe pas dans notre cas. Toutefois, nous avons opté pour une présentation croissante classique : 0,1,2,3,4 pour ce qui concerne les variables d'affectation. Les autres variables étant des variables auxiliaires, elles n'entrent pas dans la fonction de recherche d'Ilog.
- **Choix de la valeur** : une fois la variable à instancier choisie, le solveur examine son domaine et suit l'heuristique suivante pour choisir la valeur à lui affecter :
 - Pour chaque valeur k du domaine de la variable X_{ij} à instancier : évaluer le nombre de fois Nb_k où la valeur k a été affectée dans le planning de l'infirmier i ;
 - Identifier la plus petite valeur Nb_{min} de tous les Nb_k ;
 - Choisir la plus grande valeur g parmi les valeurs k du domaine de X_{ij} telles que $Nb_k = Nb_{min}$;
 - Affecter g à X_{ij} et propager les effets de l'unification de la variable.

6.3 Comparaison des approches PLM et PPC

Nous avons testé chacune des approches pour résoudre un ensemble d'instances du problème de planification des infirmiers anesthésistes (PPIA). Après avoir précisé les outils utilisés pour les expérimentations, nous présentons les données ainsi que les résultats obtenus par chaque méthode. Les résultats sont finalement discutés afin de tirer quelques conclusions.

6.3.1 Les outils utilisés

LINGO pour l'approche PLM

Parmi les solveurs de programmation linéaire du marché, nous avons disposé de LINGO version 8.0 (LINDO, 2003) distribué par la société LINDO Systems Inc. pour la validation de notre modèle et pour la confrontation des résultats de l'approche PLM avec l'approche PPC. D'autres solveurs méritent cependant d'être testés, et c'est le sujet abordé dans la section 6.4.

LINGO est à la fois un modéleur, permettant d'exprimer le problème à résoudre, et un solveur, se chargeant de sa résolution. Le langage de modélisation de LINGO offre la possibilité d'exprimer le problème d'une manière assez naturelle, proche de la notation mathématique du modèle. Toutes les contraintes portant sur des ensembles sont très facilement transcrites à l'aide de boucles, contrairement à d'autres langages tels que MPS. La prise en main de ce solveur est donc assez aisée. D'autre part, les fonctions d'import de données externes et d'export de solutions (depuis et vers Microsoft Excel par exemple) facilitent l'exploitation des résultats, ainsi que les expérimentations sur différents jeux de données. Néanmoins, le solveur présente l'inconvénient de ne pas garder en mémoire les différentes solutions obtenues lors de la recherche, et ne donne pas la possibilité de suivre l'évolution de la recherche à partir d'un fichier de résultats. Il est possible de connaître la dernière valeur de l'objectif trouvée et d'afficher la meilleure solution trouvée, mais pas de savoir à partir de quelle itération ou de quel temps de recherche cette solution a été obtenue.

ILOG pour l'approche PPC

Pour la résolution du problème de planification sous forme d'un problème de satisfaction de contraintes, nous avons utilisé l'outil Ilog Solver (ILOG, 1998) commercialisé par la société Ilog. Quelques caractéristiques de ce solveurs de contraintes ont été développées dans la section précédente, notamment au niveau de la paramétrisation de la stratégie de recherche de solution.

Le problème que nous considérons a été modélisé en C++ à l'aide de la bibliothèque C++ d'Ilog Solveur. Ce langage est un peu moins facile d'utilisation que celui proposé par LINGO, néanmoins l'utilisateur reste très libre dans son développement, ce qui présente certains avantages. Nous n'avons pas recherché à modifier les mécanismes de propagations de contraintes ni de *backtracking* d'Ilog Solver qui sont très performants en l'état.

6.3.2 Expérimentations et résultats

Dans les exemples que nous avons considérés dans un premier temps, les infirmiers sont tous au régime temps complet. Les deux approches PL et PPC ont été testées sur des problèmes de différentes tailles, au niveau du nombre de personnes considérées dans l'effectif et au niveau du nombre de jours compris dans l'horizon de planification. Les paramètres des expérimentations sont présentés dans le tableau 6.3.

Pour chacune des approches, les valeurs de la fonction objectif données dans le tableau de résultats 6.4 ne sont pas les valeurs optimales, mais celles obtenues après une heure de recherche. Nous avons préféré arrêter la recherche, bien que l'optimalité de la solution n'ait pas été prouvée, et ceci pour plusieurs raisons :

Paramètres	Effectif	Horizon	Besoins	JR	JU	NU	SS
Problème 1	10	14	Lun à Ven	2	2	1	1
			Sam à Dim	0	1	1	0
Problème 2	20	7	Lun à Ven	7	2	1	2
			Sam à Dim	0	1	1	0
Problème 3	16	7	Lun à Ven	7	2	1	2
			Sam à Dim	0	1	1	0
Problème 4	16	14	Lun à Ven	7	2	1	2
			Sam à Dim	0	1	1	0

TAB. 6.3 – Paramètres des problèmes testés en PPC et PLM

Résultats	Approche PLM				Approche PPC			
	P_{max}	P_{min}	Obj	CPU	P_{max}	P_{min}	Obj	CPU
Problème 1	8,8	8,4	0,4	14	9	8,2	0,8	2168
Problème 2	4,2	3,6	0,6	62	5,6	2,0	3,6	25
Problème 3	5,0	4,6	0,4	183	5,4	4,0	1,4	28
Problème 4	9,6	9,4	0,2	241	10,6	8,8	1,6	1067

TAB. 6.4 – Résultats obtenus par l’approche PPC et l’approche PLM

1. les deux solveurs, et particulièrement le solveur de programmation linéaire mixte, ont trouvé une très bonne solution atteignant ainsi une valeur asymptotique après quelques secondes de recherche ;
2. même après 12 heures de recherche, la meilleure valeur de l’objectif atteinte était identique à celle obtenue après une heure de recherche ;
3. un bon planning peut être acceptable bien qu’il ne présente pas exactement l’écart minimal entre P_{max} et P_{min} .

Par ailleurs, la solution optimale obtenue par un solveur peut être optimale vis-à-vis du modèle, mais pourra probablement se révéler non optimale dans la réalité, les aspects humains étant souvent difficiles à modéliser correctement (Blöchliger, 2004).

Il apparaît, en lisant le tableau 6.4, que l’approche PLM donne de biens meilleurs résultats que l’approche PPC en termes de valeur du critère objectif $P_{max} - P_{min}$ atteint. Cependant pour le problème de plus petite taille (problème 1), les résultats obtenus par l’approche PPC sont acceptables (valeur de l’objectif inférieure à 1). Pour des effectifs différents mais des besoins identiques (problème 2 et 3), la PLM donne des résultats similaires, alors que la valeur obtenue par la PPC est moins bonne lorsque l’effectif est surdimensionné par rapport aux besoins. Dans tous les cas, la PLM est plus rapide pour trouver la meilleure solution.

En analysant les plannings obtenus par chaque méthode (figures 6.3 et 6.2), il semble qu’ils ne soient pas de natures tout à fait comparables et pour cette raison donnent des résultats aussi différents. Avec l’approche PPC, les premiers infirmiers du planning se voient attribuer un échantillon de chaque type de vacations. Certaines des vacations nécessitant peu d’infirmiers (JU, NU et SS) et les besoins étant couverts dès le début de la recherche, les infirmiers de la fin du planning se trouvent avec des plannings homogènes ne contenant qu’un type de vacation (JR), et ainsi présentant une pénibilité inférieure. Finalement tout un pan de l’arbre de recherche n’est pas exploré, l’algorithme de choix des variables et des valeurs ainsi que les mécanismes de propagation et de retour-arrière ne le permettant pas. L’approche par PLM ne comprend pas ces « contraintes additionnelles » de distribution des vacations. Les résultats donnés par cette méthode correspondent à des plannings avec un écart

PPC	Lun 1	Mar 1	Mer 1	Jeu 1	Ven 1	Sam 1	Dim 1	Lun 2	Mar 2	Mer 2	Jeu 2	Ven 2	Sam 2	Dim 2	P
Inf 1	SS	JU	NU		JU			JR	SS	JU	NU				10,6
Inf 2	SS	JU		JU	NU			JR	SS	JU		JU			10,4
Inf 3	NU		SS	JU				JU	NU		JR	SS			9,4
Inf 4	JU	NU		SS	JR			JU		SS	JU	NU			10,6
Inf 5	JU		SS	JR	JU			NU		SS	JU				9,2
Inf 6	JR	SS	JU	NU				SS	JU		JR	JR			10
Inf 7	JR	SS	JU		SS			JR	JU	NU		JR			10
Inf 8	JR		JR	SS	SS			JR	JU	NU		JR			10,4
Inf 9	JR		JR		JR	JU	JU			JR	JR	JR			8,8
Inf 10	JR	JR				NU	NU			JR	JR	SS			8,8
Inf 11	JR	JR		JR				JR	JR			JR	JU	JU	8,8
Inf 12	JR	JR	JR	JR	JR				JR		SS	JU			8,8
Inf 13		JR	JR	JR	JR				JR	JR			NU	NU	9,2
Inf 14		JR	JR	JR	JR			JR	JR	JR	JR	JR			9
Inf 15		JR	JR	JR	JR			JR	JR	JR	JR	JR			9
Inf 16		JR	JR	JR	JR			JR	JR	JR	JR	JR			9

FIG. 6.2 – Planning construit par la PPC

PL	Lun 1	Mar 1	Mer 1	Jeu 1	Ven 1	Sam 1	Dim 1	Lun 2	Mar 2	Mer 2	Jeu 2	Ven 2	Sam 2	Dim 2	P
Inf 1		JR	JR	JR					JR	JU	NU		JU	JU	9,4
Inf 2	NU			JR	JR			JU				SS	NU	NU	9,4
Inf 3	JR	JR		SS	JR			JR	JR	JR	JR	JR			9,6
Inf 4	JR		JR	JR	SS			JR	JR	JR	JR	JR			9,6
Inf 5	JR	JR	JU	NU				JR	JR	JR	JR	JR			9,6
Inf 6		JR	JR	JR	SS			SS	JU		JR	JR			9,4
Inf 7		SS	JR	JR	JR			JU	NU		JR	JU			9,4
Inf 8	JU	NU		SS	JU			JR	JR	JU		JR			9,6
Inf 9		JU	NU		JR			SS	SS	SS	JR				9,4
Inf 10	JR	JU		JU	NU				SS	SS	SS				9,6
Inf 11	JR		JR	JU		NU	NU			JR	JR	JU			9,6
Inf 12	JU		SS		JR			JR	JR	JR	JU	NU			9,4
Inf 13	SS	JR	JR	JR	JU			NU		JR	JU				9,4
Inf 14	SS	JR	JR			JU	JU				SS	SS			9,6
Inf 15	JR	SS	JU		JR			JR	JU	NU		JR			9,4
Inf 16	JR	JR	SS	JR	JR			JR	JR	JR		JR			9,6

FIG. 6.3 – Planning construit par la PLM

de pénibilité bas, dans lesquels chaque infirmier est affecté à plusieurs vacations d'un même type, mais l'algorithme de séparation et évaluation propre au solveur utilisé ne nous permet pas de connaître l'exploration de l'arbre de solutions.

6.3.3 Discussion

Les modélisations par l'approche PLM et par l'approche PPC présentent certaines différences au niveau des variables d'affectation employées et des contraintes devant être modélisées. La première requiert une certaine habileté de modélisation, ainsi qu'un niveau d'expertise. Les variables définies étant binaires et comprenant 3 indices (infirmier, jour, vacation), le programme doit gérer un grand nombre de variables, qui s'accroît exponentiellement avec l'extension de l'horizon de planification et de la taille de l'équipe.

Au niveau de l'optimisation, la procédure de séparation et évaluation par la programmation linéaire est plutôt efficace, bien qu'opaque. En programmation par contraintes, la valeur de l'objectif de la première solution trouvée a un fort impact sur la vitesse de convergence vers l'optimum. En effet, plus la borne fixée par la première solution est haute (dans notre problème de minimisation), moins la contrainte additionnelle d'objectif sera réductrice et plus le nombre d'itérations nécessaires à l'obtention de l'optimum sera important. D'où l'importance de développer une stratégie de recherche permettant d'obtenir une bonne solution dès la première itération. Pour la mise au point de cette stratégie, de nombreux tests sont nécessaires, et il arrive parfois de ne pas trouver de stratégie très performante pour la résolution d'un problème. De même qu'une stratégie valable pour un type de problème pourra se révéler inefficace dans un autre cas d'application.

A la lumière des résultats présentés dans cette section, nous pouvons conclure, que dans l'état actuel de perfectionnement de chacune des approches, l'approche PLM montre sa supériorité, ainsi qu'une certaine facilité de mise en œuvre. L'approche PPC mériterait d'être approfondie davantage, en recherchant par exemple une stratégie de choix de la variable et de la valeur plus performante. Tout comme c'est le cas pour les autres travaux de la littérature comparant ces deux approches (Partouche, 1998; Smith *et al.*, 1995), les résultats énoncés ici sont naturellement valables uniquement pour le problème particulier défini dans ce chapitre.

La suite de ce chapitre est focalisée sur l'approfondissement des expérimentations liées à l'approche de programmation linéaire mixte. Nous proposons de comparer les performances de plusieurs solveurs de programmation linéaire, commerciaux et libres, sur différentes instances du PPIA.

6.4 Comparaison des solveurs pour l'approche PLM

Le solveur LINGO dont nous avons disposé pour la validation du modèle n'est pas connu comme étant le meilleur solveur du marché (Neumaier *et al.*, 2005). Pour cette raison, il nous a semblé judicieux de tester le modèle sur un solveur de référence, CPLEX (ILOG, 2001), réputé pour ses performances en termes de temps de recherche. Parallèlement à cela, dans le but de rendre notre modèle directement utilisable par les cadres de santé, sans leur imposer d'acquisition de logiciels payants que sont les solveurs commerciaux, nous avons implémenté le modèle à l'aide du solveur libre GLPK (GLPK, 2005a). Ceci nous permettant de conclure quant à la faisabilité d'utiliser un logiciel libre pour la résolution d'un tel problème.

6.4.1 Les outils utilisés

Toutes les expérimentations ont été effectuées sur un Pentium M 1500MHz 504Mo, en choisissant les options des solveurs proposées par défaut.

LINGO

Ce logiciel a été présenté dans la section précédente (section 6.3). Il permet de modéliser et de résoudre le problème dans un même environnement. Ce solveur présente des avantages (facilité de modélisation, un seul environnement, fonctions d'import/export) comme des inconvénients (pas de suivi de résolution, fonctionnement en boîte noire).

CPLEX

CPLEX, distribué par la société ILOG, est un des leader des solveurs à base de programmation mathématique. Nous avons utilisé l'interface graphique utilisateur Ilog OPL Studio version 4.1 (ILOG, 2005) qui permet d'éditer les modèles (fichier .mod) et leurs ensembles de données (fichier .dat), de gérer le projet, de mettre en place des stratégies de résolution, de visualiser les solutions. Le langage de programmation du modèle est assez intuitif, et permet de modéliser aisément un problème. Les données peuvent être importées de fichiers ou de bases de données externes, ce qui rend pratiques les expérimentations sur différents jeux de données. Néanmoins, la syntaxe proposée est moins conviviale que celle de l'import de données proposé par LINGO. Des problèmes ont été rencontrés pour l'export des résultats vers un autre fichier (texte ou Excel) lorsque l'optimum n'a pas été trouvé par le solveur. L'exploitation des résultats est alors fastidieuse, d'autant que les variables d'affectation possèdent plus de deux indices.

Il est possible de définir des stratégies de recherche personnalisées pour les problèmes mixtes et entiers MIP (*Mixed Integer Programming*), et de les contrôler avec des buts. Ces dispositifs de contrôle spécifient la sélection des branchements et des nœuds comme dans la programmation par contraintes. Nous n'avons pas utilisé la personnalisation de la stratégie de recherche dans nos expérimentations, mais avons considéré les paramétrages par défaut de chaque solveur.

CPLEX est aussi utilisable avec le langage AMPL, plus standard que OPL, mais nécessitant un module adéquat payant.

GLPK

GLPK (*GNU Linear Programming Kit*) est distribué sous GNU GPL (*General Public License*). C'est un ensemble de routines écrites en C et organisées sous forme d'une bibliothèque, permettant de résoudre des problèmes de programmation linéaire, à variables continues, mixtes ou entières. GLPK est également livré avec un solveur autonome (`glpsol`), capable de traiter des problèmes modélisés dans différents langages, dont le langage GNU MathProg, qui est un sous-ensemble du langage AMPL.

6.4.2 Expérimentations et résultats

Afin d'éprouver la qualité du modèle et la capacité des solveurs à le résoudre, nous avons réalisé une série de tests correspondant à des tailles de problèmes différentes. Plusieurs paramètres font l'objet de différentes instanciations :

- L'horizon temporel H : il s'agit du nombre de jours considéré dans le planning ;
- La taille de l'effectif N : ce paramètre est directement relié à d'autres paramètres d'entrées qui sont :
 - les besoins b_{jk} en nombre de personnes pour chaque jour et chaque vacation,
 - le régime de travail R_i de chaque infirmier de l'effectif (temps complet, 80%, 70%, 50% ou 30%)
- La valeur de la pénibilité p_{jk} associée à chaque vacation et à chaque jour de la semaine.

Les différentes valeurs des paramètres qui ont été testées sont présentées dans le tableau 6.5. Nous avons choisi pour chaque besoin une composition d'effectif mixant temps complets et temps partiels dans des proportions habituellement rencontrées (tableau 6.6). Les besoins considérés couvrent un ensemble de cas, allant de l'ouverture de 2 salles (petit bloc de spécialité par exemple) à 20 salles (plateau médico-technique regroupé). Le premier jeu de pénibilité testé a été présenté dans la description du problème. Le second a été construit en prenant en compte, outre la difficulté des vacations, la durée de chacune d'elles.

Dans chacun des cas, l'optimum n'a pas été trouvé, mais la plupart du temps la solution obtenue après quelques secondes de recherche est identique à la solution en cours après une heure de recherche. Les résultats donnés par le tableau 6.7 sont ceux obtenus après 10 minutes de calcul pour CPLEX et LINGO et après 20 minutes pour GLPK. Le tableau fait apparaître la valeur de la meilleure fonction objectif (Z) obtenue pour chacune des expérimentations ainsi que l'écart maximum de taux d'occupation des infirmiers (ΔT). Cet indicateur ΔT permet d'évaluer la différence de charge en termes d'heures travaillées. Un écart ΔT de 0,5 signifie que l'on pourra rencontrer dans le planning une configuration telle que un infirmier travaille à 120% tandis qu'un autre travail à 80%. La troisième colonne donne le nombre de variables d'affectation binaires (0-1) du problème considéré.

On remarque que pour la plupart des expérimentations, le solveur CPLEX trouve un objectif inférieur à 1. La courbe de recherche de ce solveur atteint une valeur asymptotique au bout de quelques secondes qui ne s'améliore pas en prolongeant la recherche. En général plus le problème est petit, plus l'objectif est bon, cependant cette évolution, aux vues du tableau de résultats, n'est pas totalement linéaire. Avec le second jeu de pénibilités, on obtient des valeurs de l'objectif légèrement supérieures, avec toutefois, un écart de taux d'occupation moins élevé qu'avec le premier jeu de pénibilité.

La valeur de l'objectif donnée par le solveur LINGO est presque toujours légèrement supérieure à celui donné par CPLEX. Les exceptions peuvent s'expliquer par le fait que chaque solveur utilise des algorithmes différents, avec des règles de séparation et évaluation qui leurs sont propres, qui conduisent les recherches vers des solutions différentes. L'écart d'objectif trouvé s'accroît pour des problèmes de très grande taille (avec le plus grand effectif et pour un horizon supérieur à 14 jours).

Les performances du solveur libre GLPK sont assez décevantes en comparaison de celles des autres solveurs. Même avec un temps de recherche deux fois supérieur, les résultats trouvés sont nettement moins bons. Pour le plus grand problème, aucune solution faisable n'a pu

Pénibilité		JR	JU	NU	SS
1	Lun à Ven	1	1,2	1,4	1,6
	Sam à Dim	0	1,4	1,6	0
2	Lun à Ven	1	1,4	1,4	1,2
	Sam à Dim	0	1,6	1,6	0

Besoin		JR	JU	NU	SS
1	Lun à Ven	2	2	1	2
	Sam à Dim	0	1	1	0
2	Lun à Ven	7	2	1	2
	Sam à Dim	0	1	1	0
3	Lun à Ven	10	2	1	3
	Sam à Dim	0	1	1	0
4	Lun à Ven	20	4	2	4
	Sam à Dim	0	1	1	0

TAB. 6.5 – Paramètres des problèmes testés avec les solveurs CPLEX, LINGO et GLPK sur 7, 14 et 28 jours

	Composition de l'effectif					Effectif ETP	Effectif total
	100%	80%	70%	50%	30%		
Besoin 1	5	6	0	3	0	11,3	14
Besoin 2	7	8	2	4	1	17,1	22
Besoin 3	10	10	3	2	1	21,4	26
Besoin 4	18	15	9	8	2	40,9	52

TAB. 6.6 – Composition de l'effectif considéré pour chaque besoin, effectif ETP (équivalent temps plein) et effectif total

être déterminée. Son algorithme de séparation et évaluation étant assez basique, ce solveur libre résout avec difficultés les problèmes linéaires mixtes comprenant un grand nombre de variables entières tels que le nôtre. Après avoir tenté de résoudre ce même problème avec un autre solveur libre, LpSolve, sans succès, nous pouvons conclure que pour les grandes tailles de problème, l'utilisation d'un solveur du marché est indispensable.

6.4.3 Discussion

Les résultats des expérimentations nous montrent que pour les tailles de problèmes rencontrés dans la réalité, le solveur libre GLPK n'offre pas de résolutions efficaces, comparables à celles d'autres solveurs cette fois-ci commerciaux. Un tel écart est explicable par le fait que les solveurs commerciaux, et notamment CPLEX, mettent en jeu des techniques de coupes qui permettent d'augmenter considérablement la vitesse de recherche de solution. Les solveurs libres tels que GLPK ou LpSolve, n'ont pas encore inclus de tels mécanismes et pour cette raison ne peuvent encore rivaliser.

Une solution pour rendre moins complexe ce problème d'affectation serait de le scinder en plusieurs sous problèmes, tels que : l'affectation des jours de congés, l'affectation des vacances d'urgence, l'affectation des vacances de journée réglée et de surveillance de SSPI. Chaque sous problème comprenant un nombre de variables moins important serait alors plus facilement résolu à l'aide de GLPK.

Problème traité			Pénibilité 1					
Horizon	Effectif	0-1	CPLEX		LINGO		GLPK	
			Z	ΔT	Z	ΔT	Z	ΔT
7 jours	N = 14	490	0,6	0,57	0,8	0,68	2,4	0,84
	N = 22	770	0,47	0,31	1,2	0,7	2,5	0,6
	N = 26	910	0,51	0,41	1,05	0,62	2,55	0,66
	N = 52	1820	0,6	0,28	1,2	0,41	3,14	0,66
14 jours	N = 14	980	0,7	0,43	0,45	0,27	1,75	0,39
	N = 22	1540	0,6	0,56	1	0,44	3	0,48
	N = 26	1820	0,5	0,33	1	0,48	2	0,49
	N = 52	3640	1,6	0,41	2,28	0,47	6,6	0,84
28 jours	N = 14	1960	0,4	0,15	0,75	0,74	2,95	0,51
	N = 22	3080	0,97	0,35	0,14	0,28	4,27	0,29
	N = 26	3640	0,86	0,27	1,2	0,28	3,45	0,41
	N = 52	7280	1,09	0,38	2,7	0,4		

Problème traité			Pénibilité 2					
Horizon	Effectif	0-1	CPLEX		LINGO		GLPK	
			Z	ΔT	Z	ΔT	Z	ΔT
7 jours	N = 14	490	0,75	0,28	0,8	0,68	1,75	0,3
	N = 22	770	0,75	0,28	1,2	0,7	2,42	0,5
	N = 26	910	0,8	0,28	1,05	0,62	1,75	0,3
	N = 52	1820	0,86	0,29	1,2	0,77	3,75	0,8
14 jours	N = 14	980	0,75	0,15	0,85	0,15	2	0,28
	N = 22	1540	0,6	0,15	1,2	0,22	2,4	0,47
	N = 26	1820	1,2	0,21	0,95	0,44	3,47	0,43
	N = 52	3640	0,85	0,14	2	0,28	6,33	0,6
28 jours	N = 14	1960	0,2	0,09	1,05	0,11	2,25	0,18
	N = 22	3080	0,75	0,09	1,2	0,17	4,47	0,37
	N = 26	3640	0,95	0,14	1,25	0,16	3,4	0,21
	N = 52	7280	1	0,14	2,2	0,24		

TAB. 6.7 – Résultats de 24 expérimentations de l'approche PLM sur 3 solveurs

6.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un problème de planification de personnel rencontré au sein du plateau médico-technique, celui des infirmiers anesthésistes diplômés d'État (IADE), dont l'objectif est de construire des plannings maximisant l'équité entre les employés, tout en respectant un ensemble de contraintes. Ce type de problème peut être formulé comme un programme linéaire en nombres mixtes (PLM), ou comme un problème de satisfaction de contraintes résolu à l'aide des mécanismes de programmation par contraintes (PPC). Bien que dans d'autres travaux la PPC ait montré son efficacité, pour le problème que nous considérons cette méthode s'avère moins performante que l'approche PLM. Dans un deuxième temps nous avons cherché à résoudre le problème de planification des infirmiers anesthésistes en suivant l'approche PLM à l'aide de différents solveurs, dans le but d'une part de valider le modèle et d'autre part d'étudier la faisabilité d'utiliser un solveur libre. Les résultats nous montrent que le problème considéré est trop complexe pour les mécanismes actuels du solveur GLPK, et devrait être scindé en deux sous-problèmes afin de pouvoir être résolu par ce type d'outil.

Dans le chapitre suivant nous allons encore une fois tester différents outils pour la résolution d'un autre problème de pilotage des ressources mutualisées du plateau médico-technique : le problème de planification de médecins anesthésistes (PPMA). L'objectif du PPMA diffère de celui du PPIA et nous verrons que le comportement des solveurs est différent pour ce type de problème.

Chapitre 7

Modèle de planification des médecins anesthésistes

Dans ce chapitre, nous présentons un modèle pour la résolution du problème de planification des médecins anesthésistes réanimateurs du PMT. Le regroupement de plusieurs spécialités sur un même site offre des possibilités de mutualisation des médecins, et une attention particulière est donnée à l'adéquation des compétences des praticiens aux besoins dictés par la programmation opératoire. Des contraintes de réglementation du travail et de couverture de la charge sont à respecter strictement tandis que l'on cherche à minimiser le non-respect des contraintes souples (adéquation compétence et spécialité, confort de travail, qualité du suivi post-opératoire). Le programme linéaire en nombres entiers proposé est appliqué et évalué à partir des données réelles du Centre Hospitalier de Valence.

Le regroupement des blocs opératoires de spécialités au sein d'un plateau médico-technique (PMT) pluridisciplinaire offre des possibilités de mutualisation des ressources. Tout comme les infirmiers anesthésistes (IADE), les médecins anesthésistes réanimateurs (MAR), de par leur activité transversale sur les spécialités chirurgicales font partie des personnels pouvant être organisés en un pool commun à l'ensemble du PMT. Cette mise en commun des ressources, rares et de haute qualification, amènent de nouveaux problèmes de pilotage, tels que la construction des tableaux de service, qui ne sont autres que les plannings des MAR sur les différentes activités qu'ils prennent en charge, sur les différentes spécialités du PMT et sur les différents modes de prise en charge (programmé, ambulatoire, urgence). La technicité des gestes à réaliser par le MAR et le savoir-faire à mettre en œuvre au cours de la prise en charge de l'endormissement, du maintien de l'anesthésie et du réveil du patient subissant une chirurgie au bloc opératoire, amènent à considérer la compétence des individus dans l'affectation aux activités. Cette dimension qui pouvait être contournée dans le cas de la planification des IADE (chapitre 6), fait partie de l'objectif à optimiser dans le Problème de Planification des Médecins Anesthésistes (PPMA) sur lequel se focalise le présent chapitre.

Le PPMA est également particulièrement d'actualité, puisque des mesures récentes ont été prises pour l'aménagement du temps de travail des praticiens ou temps médical (MeaH, 2005). Les établissements doivent notamment intégrer des nouvelles dispositions réglementaires de comptabilisation des obligations de service, de limitation du temps travaillé, des récupéra-

tions du temps de travail et du temps additionnel¹. L'objectif affiché de l'Aménagement et la Réduction du Temps de Travail (ARTT)² médical est de permettre une amélioration des conditions de travail et de vie des praticiens. Cependant le compte et le décompte du temps médical, à l'heure ou à la demi-journée, ainsi que son organisation collective sont des concepts entrés depuis peu dans la culture des praticiens. L'organisation du temps de travail des praticiens, autrefois gérée individuellement, devient par conséquent encore plus complexe puisque dépendant de nouveaux paramètres et nécessite des outils pour son optimisation. L'un des projet de la Mission d'expertise et d'audit Hospitalier (MeaH), qui constitue l'une des missions du Plan Hôpital 2007, traite particulièrement de l'organisation du temps de travail des médecins, en abordant deux aspects de celle-ci : (1) les outils de décompte et d'organisation du temps médical et (2) les dispositifs de mutualisation du temps médical. Les travaux sont focalisés sur l'organisation de l'offre de soins, sur les règles d'organisation du temps ainsi que sur les outils de tableaux de services et de reporting de l'activité des médecins. Le point de vue planification, au sens de construction des plannings des médecins, ne fait pas l'objet d'une attention particulière. Or cette tâche complexe, tout comme la planification des infirmiers, est très coûteuse en temps pour le chef de service, qui nécessite des outils d'aide à la construction des plannings. Carter et Lapierre (2001) estiment qu'un planificateur expérimenté passe environ 40 heures pour élaborer un planning de 6 mois comprenant 14 médecins, dans le cas de plannings non cycliques.

Dans ce chapitre, nous proposons un modèle pour résoudre le problème de planification des médecins anesthésistes, qui consiste à affecter les médecins à des demi-journées d'activité comportant une certaine variété dans le type de travail et dans les spécialités couvertes. Dans une première section, nous faisons un cours rappel du périmètre d'action du MAR au cours du processus de soin du patient, tandis que la seconde section décrit le positionnement du PPMA dans le processus de programmation de l'activité du PMT. Les caractéristiques du problème ainsi que les critères à optimiser et les contraintes à respecter sont ensuite présentés (section 7.2). Des contraintes classiques de règlement du travail sont à considérer, et l'objectif recherché est l'adéquation maximale des besoins en spécialité avec les domaines de prédilection des médecins, ainsi que le respect de règles de confort de travail (éviter les repos isolés, etc.) et de qualité des soins. Cette description se veut relativement générique, puisqu'elle s'appuie sur l'observation des pratiques de l'ensemble des partenaires hospitaliers du projet HRP². La modélisation du problème en variables binaires proposée en section 7.3 est ensuite appliquée au cas du Centre Hospitalier de Valence. Le problème est résolu par un algorithme classique de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE), à l'aide du solveur libre GLPK (section 7.4).

7.1 Positionnement du problème

7.1.1 Activités du MAR (Médecin Anesthésiste Réanimateur)

Le PPMA est d'autant plus intéressant à aborder, qu'il « déborde » de l'enceinte du PMT, le MAR intervenant à plusieurs niveaux au cours du processus de prise en charge du patient à l'hôpital. Son temps doit être partagé entre les activités qui précèdent la chirurgie, qui l'accompagnent et qui la suivent. Les médecins anesthésistes interviennent de manière

¹Les praticiens hospitaliers peuvent, sur la base du volontariat, assurer des périodes de temps de travail additionnel au-delà de leurs obligations de service dans les conditions fixées par leurs statuts respectifs. Une période de temps de travail additionnel peut être, au choix du praticien, indemnisée, récupérée ou versée au compte épargne-temps (Extrait de l'article 4 modifié par l'article 2 de l'arrêté du 18/11/2003)

²Le terme initial était OARTT pour Organisation Aménagement et Réduction du Temps de Travail

transversale entre les différentes spécialités chirurgicales sur des activités programmées, d'ambulatoire et d'urgence, ceci dans le cadre de leur service journalier, de gardes ou d'astreintes. Ils doivent être affectés à différentes vacations de consultation (pré-opératoire), de prise en charge de l'anesthésie pendant une chirurgie (per-opératoire), de visites dans les services (post-opératoire), en alternant les périodes (matin, après-midi), et en favorisant les compétences individuelles pour ce qui concerne les activités per-opératoires et post-opératoires³. La figure 7.1 met en évidence les activités du processus de prise en charge du patient sur lesquels interviennent les médecins anesthésistes (blocs grisés).

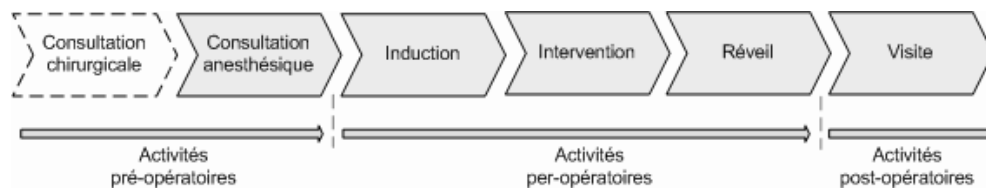


FIG. 7.1 – Activités du processus de prise en charge du patient sur lesquels interviennent les médecins anesthésistes

Un ensemble d'affectations individualisées, vis-à-vis des différentes activités et périodes, doit être recherché dans le souci de maximiser l'adéquation des compétences individuelles avec les compétences requises par l'activité à laquelle l'individu est affecté, concernant les activités per et post-opératoires. Un autre aspect à optimiser est le respect de contraintes de confort de travail évitant demi-journées de repos ou de travail isolées. Un troisième aspect concerne la continuité du suivi post-opératoire. Un bon planning doit pouvoir concilier désirs individuels et nécessités collectives.

7.1.2 Positionnement dans le processus de planification de l'activité

La planification des médecins anesthésistes peut avoir lieu à partir du moment où l'on a une idée de l'activité opératoire à réaliser au sein du plateau médico-technique, c'est-à-dire une fois que les spécialités ont été réparties sur les journées ou plages de bloc opératoire disponibles. Il faut en effet avoir une idée de l'effectif indispensable pour faire fonctionner le pre, le per et le post-opératoire. Les affectations aux activités per-opératoires dépendent en effet de la programmation opératoire prévisionnelle et des spécialités associées à chaque créneau disponible. La figure 7.2 situe le problème de planification des médecins anesthésistes par rapport à la planification des interventions. L'élaboration du planning initial des médecins se déroule en parallèle de l'élaboration du programme opératoire, toutes deux se basant sur la répartition des spécialités sur les différents créneaux de la semaine. Lorsque les interventions sont programmées et que le programme opératoire est validé, un ajustement du planning initial des médecins peut-être envisagé, dans le cas, par exemple, du non remplissage de certaines plages. Un jour de congé pourra alors être alloué.

Les affectations aux activités pré et post-opératoires n'ont a priori pas besoin d'être reliées à la programmation. Cependant elles le seront automatiquement, car les affectations des trois types d'activité sont distribuées par la même opération de planification.

Plusieurs cas sont à distinguer selon le mode de programmation adopté : programmation ouverte (*Open Scheduling*), programmation par plage (*Block Scheduling*), programmation par

³L'organisation du maintien des compétences passe en outre par la formation médicale continue

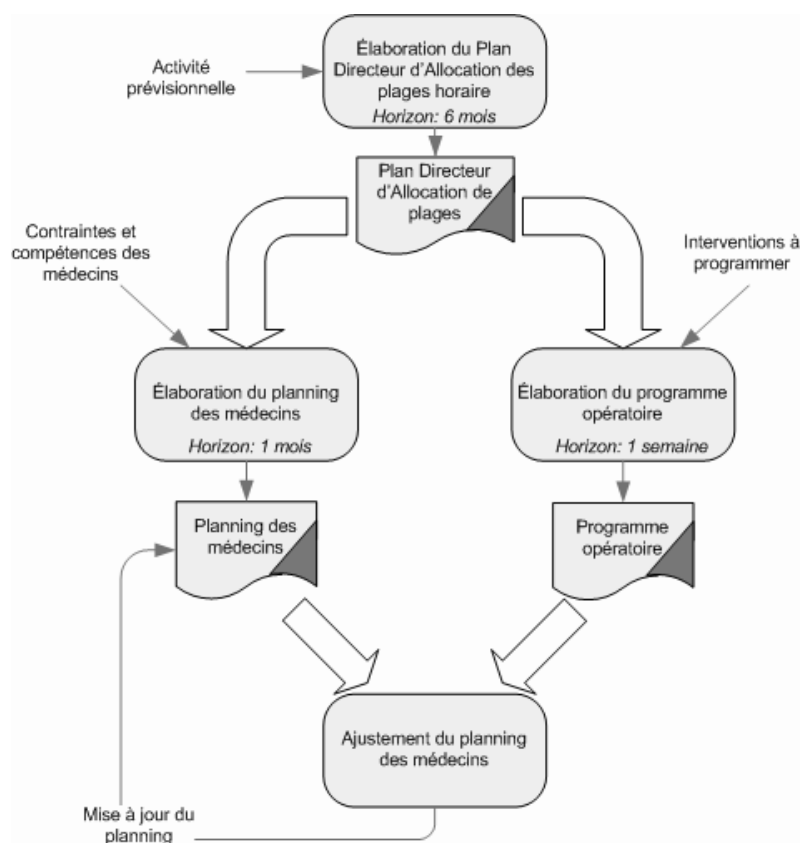


FIG. 7.2 – Positionnement de la planification des médecins anesthésistes vis à vis de la planification des interventions

plage et processus d'ajustement (*Modified Block Scheduling*).

- *Programmation ouverte - Open Scheduling*

Dans le cas de la programmation ouverte, les interventions sont programmées sur les salles d'intervention sans que des plages aient été allouées aux chirurgiens au préalable. La programmation se fait au fil des demandes. La plupart du temps, les interventions d'une spécialité sont programmées sur un même ensemble de salles, qui ne varie pas d'une semaine à l'autre. On se rapproche alors d'une programmation par plages horaires, dans laquelle des plages sont allouées à chaque spécialité par créneau correspondant à une journée. Nous supposons alors que le bloc opératoire est dimensionné de manière satisfaisante vis-à-vis de l'activité de chirurgie pour les spécialités concernées. Les interventions, une fois inscrites au programme opératoire, sont regroupées de manière à optimiser l'utilisation des ressources salles d'opération durant l'ouverture du bloc.

- *Programmation par plage - Block Scheduling*

Dans le mode de programmation par allocation préalable de plages horaires à des chirurgiens ou à des groupes de chirurgiens, le programme opératoire est établi à partir d'un Plan Directeur d'Allocation des plages (PDA). Une vision prévisionnelle de l'activité est disponible dès que le PDA est validé, dans la mesure où les chirurgiens ou les groupes de chirurgiens s'engagent à optimiser l'utilisation des plages qui leur sont allouées. Dès lors, les besoins en nombre et en compétence des personnels d'anesthésie pour l'activité per-opératoire est connue.

– *Programmation par plage et processus d'ajustement - Modified Block Scheduling*

Le mode de programmation par allocation de plage et processus d'ajustement est très proche du mode de programmation précédent. Le principe est de créer un PDA mixant des plages allouées à des chirurgiens ou groupes de chirurgiens, ainsi que des plages « banalisées » communes ouvertes à tous. A partir d'une certaine date, les plages allouées mais non utilisées sont banalisées. Les plages banalisées rendent le PDA plus flexible. Selon les jours, l'une ou l'autre des spécialités peuvent être affectées aux plages banalisées. Avec ce mode programmation de l'activité de chirurgie, l'activité réelle est connue peu de temps à l'avance, et donc le besoin en compétences peut difficilement être anticipé. Deux possibilités sont alors envisageables : (1) regrouper les médecins anesthésistes par spécialité et faire en sorte que les plages banalisées correspondent aux mêmes spécialités ; (2) favoriser et tirer parti de la polyvalence au sein de l'équipe des médecins anesthésistes.

Le regroupement des activités d'anesthésie et de chirurgie sur un même site donne lieu à la création de blocs de grande taille pluridisciplinaires assumant un nombre important d'interventions. Dans ce cas-là, il semble que le mode de programmation le plus adapté soit la programmation par allocation de plages horaires, sachant que le processus d'ajustement se fait aussi bien dans le cas du *Block Scheduling* que du *Modified Block Scheduling*, tout en étant plus clairement défini (et donc mieux mis en œuvre) pour le *Modified Block Scheduling* (Marcon et Kharraja, 2003). Nous privilégions l'étude des organisations ayant adopté le mode de programmation par plages horaires. Pour les activités per-opératoire, les besoins prévisionnels en nombre et en compétence des médecins anesthésistes sont alors connus, et constituent les principales données du modèle de planification que nous présentons dans la section 7.3.

7.2 Caractéristiques du problème

7.2.1 Organisation des activités du MAR

Activités de jour

Dans un souci d'optimisation des ressources, les activités pré-opératoires de consultation pré-anesthésique sont le plus souvent organisées de manière polyvalente, la nature du travail dépendant peu des spécialités chirurgicales. La notion de compétences ou de préférences n'intervient pas. Elles sont souvent concentrées le matin, bien que pouvant être également réalisées l'après-midi. Les besoins à couvrir ne sont pas exacts mais se situent dans un intervalle. C'est ensuite le nombre de médecins disponibles, compris dans cet intervalle, pour chaque demi-journée qui déterminera le nombre de consultations pouvant être planifiées.

La réalisation des activités per et post-opératoires nécessite un savoir-faire différent selon la pathologie du patient et donc de la spécialité dont il relève. L'affectation des médecins anesthésistes aux activités per et post-opératoires doit favoriser les compétences individuelles vis-à-vis des spécialités à traiter. Chaque médecin appartient à un groupe de spécialité dans lequel il va perfectionner son savoir-faire pendant quelques années. Dans un souci de qualité et de suivi des soins, il sera alors en priorité affecté aux activités relevant de sa spécialisation, sachant que ses compétences l'autorisent également à exercer pour d'autres spécialités. Au bout d'un certain temps (2 ans généralement) et au fil du recrutement, les groupes de spécialités sont remaniés, de sorte que chacun puisse améliorer ses compétences dans une autre spécialité et ainsi de suite.

Les visites dans les étages ont lieu seulement l'après-midi. Un médecin pourra donc être affecté à une activité de consultation ou d'anesthésie le matin et de visite l'après-midi. Afin de faciliter le travail des médecins et des équipes soignantes des services, chaque médecin est associé à un ou plusieurs services dans lesquels il intervient. Dans la mesure du possible, il ne sera pas affecté aux visites dans les autres services.

Activités de nuit et de jours chômés

De par l'obligation de continuité des soins, des gardes doivent également être assurées, tout en respectant les périodes de repos post-garde. Le plus souvent, dans le processus de planification des médecins anesthésistes, la première des étapes consiste à élaborer une ou plusieurs listes de gardes, qui déterminent, pour chaque nuit, chaque week-end et chaque jour férié du mois, le médecin qui sera chargé d'absorber l'activité survenant pendant ces périodes. Dans les CHU il existe souvent plusieurs listes, pour chacune des grandes spécialités de l'hôpital telles que viscéral-urologie ou orthopédie-traumatologie.

A ces listes de gardes peuvent être associées des listes d'astreintes qui déterminent pour les mêmes périodes les médecins devant rester à proximité de l'hôpital et pouvant être appelés en support. La planification des astreintes, sauf en cas de mobilisation prolongée durant l'astreinte, n'a en théorie pas d'impact sur la planification des activités de jour, tandis que celle des gardes induit des jours de repos post-garde qu'il faut considérer comme contraintes dans la génération des emplois du temps.

Les listes de gardes et d'astreintes sont issues d'un processus de négociation entre tous les médecins. La répartition des nuits et de jours chômés est élaborée par les opérateurs eux-mêmes au cours de réunions mensuels ou trimestrielles. Dans la littérature anglophone, on appelle cette élaboration des plannings de gardes en concertation le « *Self-Scheduling* » (Burke *et al.*, 2004). Les listes peuvent néanmoins être initialement construites de manière automatique, à l'aide de logiciels intégrant les préférences personnels ainsi que des règles d'équité entre les médecins (Trilling, 1997). Cependant la difficulté de prendre en compte les désirs des individus et de formaliser les règles de manière précise par ce type d'outil, conduit nécessairement à opérer des modifications sur la trame initiale lors de réunion de concertation. C'est ensuite à partir des listes de gardes que sont élaborés les affectations aux activités de jour, tenant compte des repos post-gardes induits par le travail de nuit (Landrigan *et al.*, 2004, 2005). On ne cherchera donc pas à résoudre le problème d'élaboration des listes de gardes, mais nous les utiliserons pour déterminer la répartition des activités de jour.

Repos

Pour les médecins, les repos statutaires ne sont pas pris de manière fixe, et ne font donc pas l'objet de contraintes réglementaires que l'on peut rencontrer pour d'autre type de personnel, telles que « 1 jour de repos pour 6 jours de travail ». Devant être néanmoins consommés⁴, les repos font l'objet d'une gestion individuelle personnelle, et sont alloués aux médecins sur requête spécifique, par journée ou par demi-journée, ou bien lorsque l'effectif nécessaire du jour est atteint.

Ainsi, le problème de planification des médecins anesthésistes consiste à affecter une activité (pré, per, post-opératoire ou repos) à chaque médecin et à chaque demi-journée de travail,

⁴Les repos sont transférables sur un Compte Epargne Temps pour un nombre limité de jours par an

ainsi qu'à définir la spécialité associée aux activités per et post-opératoires le cas échéant, tout en respectant les repos post-garde induits par la liste de gardes.

7.2.2 Les critères

Nous avons vu dans le chapitre 3 que les problèmes de planification des personnels se positionnent par rapport à trois critères :

- le critère de coût, correspondant aux salaires de personnels ;
- le critère de qualité de service, qui correspond à la couverture du besoin, à l'adéquation des compétences vis-à-vis de la spécialité et au suivi des visites dans les services de soins ;
- le critère de satisfaction sociale, relatif à l'application de bonnes pratiques assurant le confort dans le travail (pas de repos isolées, respect des demandes de congés, alternance des activités, etc.).

Dans ce problème où l'effectif est considéré constant et complet, le **critère de coût** n'intervient pas. Il serait cependant à prendre en compte si l'effectif était incomplet et si le travail des médecins générerait du temps de travail additionnel au delà des 48 heures de travail hebdomadaires⁵ autorisées . Ces heures supplémentaires ne peuvent être travaillées que sur la base du volontariat et sont rémunérées individuellement. Dans de nombreuses organisations, il est aujourd'hui recherché de compléter l'effectif des médecins afin de couvrir la charge et de supprimer ainsi les heures de travail additionnel. Devant la pénurie des médecins, il est parfois tout de même nécessaire d'y avoir recours (notamment pour répondre à un pic de charge ponctuel), mais nous ne considérons pas ce cas ici et nous focalisons sur les autres critères.

Les deux autres critères entreront dans notre fonction objectif. Le **critère de qualité de service** peut être formulée en associant plusieurs sous-critères :

- Lorsque le besoin est exprimé à l'aide d'un nombre minimum et d'un nombre maximum de personnes requises par vacation, il est recherché de se rapprocher le plus possible du niveau supérieur afin d'offrir une plus grande qualité de service.
- Il est recherché une adéquation des compétences des médecins avec les besoins en spécialité, ce qui peut également être désigné comme la constance de groupe.
- A cela s'ajoute la recherche d'une constance dans le suivi des visites dans les étages, afin de favoriser une continuité du suivi et d'améliorer les soins aux patients. Dans cet optique, on recherchera à ce qu'un même médecin prenne en charge les activités post-opératoire pendant plusieurs jours consécutifs.

Le **critère de satisfaction sociale** se situe au niveau de la répartition équilibrée, équitable (charge et diversité du travail), et transparente (par un affichage) des différentes activités sur tous les membres de l'équipe. Cette répartition passe bien évidemment par une bonne répartition des gardes et des astreintes (qui est traitée en amont de notre problème), mais également par une alternance entre les différents types d'activités pré, per et post-opératoires. Ceci, dans un souci de variété dans la nature du travail afin de ne pas tomber dans la routine, mais également de répartir les activités populaires et celles moins populaires. Par ailleurs, il sera rechercher d'éviter d'attribuer des demi-journées de travail isolées, c'est-à-dire un matin ou un après-midi uniquement, alors que l'autre demi-journée est un repos.

⁵Moyennées sur 4 mois

Nota : la répartition homogène des types d'activités rentre indirectement dans le critère de qualité de service, car elle constitue une condition nécessaire au maintien de la polyvalence des médecins. Le cloisonnement des activités de spécialité est recherché, cependant, par le jeu des absences, des ponts entre les spécialités sont parfois franchis et tolérés, car ils permettent aux médecins compétents habituellement affectés à une spécialité de pratiquer ponctuellement dans une autre spécialité.

7.2.3 Les contraintes

Les contraintes devant être respectées peuvent être soit obligatoires soit souples. Les contraintes obligatoires sont rigides et doivent être respectées coûte que coûte. Quant à elles, les contraintes souples sont flexibles et peuvent être transgressées, bien que cela ne soit pas souhaitable. Le nombre de fois où elles ont été violées est pris en compte dans le critère à optimiser.

– Les contraintes obligatoires

1. Un médecin peut être affecté à une activité au maximum par demi-journée, et à une seule garde par nuit. Il est soit au repos, soit en activité. Cette contrainte est appelée contrainte de cohérence.
2. La table des besoins en activités de jour doit être couverte parfaitement. Cette table peut varier d'une semaine à l'autre, et se voit réduite lors des périodes de vacances scolaires. Elle est soit exprimé comme un besoin fixé (pour les activités post-opératoires), ou comme un besoin se situant dans un intervalle (pour les activités pré et per-opératoires).
3. Le temps de travail hebdomadaire, hors temps additionnel, est limité à 48 heures, ce qui correspond à 10 demi-journées de travail (gardes comprises).
4. Le lendemain d'une garde est un jour de repos (repos post-garde).

– Les contraintes souples

1. Lorsqu'un jour est travaillé, le matin et l'après midi sont travaillés.
2. L'activité de visite post-opératoire dans les étages doit être suivie par le même médecin durant un minimum de 4 jours par semaine.
3. Les spécialités des activités per et post-opératoires doivent être en adéquation avec l'appartenance des médecins aux groupes de spécialités.
4. Le niveau de couverture du besoin doit approcher le plus possible la borne supérieure du nombre de personnes requise par activité.

7.3 Modélisation

Nous considérons ici le problème de planification des activités de jour (pré per et post-opératoires) en considérant les affectations de nuit et jours chômés comme connues (gardes). Dans la modélisation du problème à l'aide de la Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) toutes les affectations de jour sont exprimées par des variables, tandis que les affectations aux gardes sont exprimées par des paramètres (liste de gardes).

7.3.1 Les données du problème

Ensembles et indices du problème

$\mathcal{I}$	=	Ensemble des indices représentant les médecins dont il faut créer l'emploi du temps ; $i \in \mathcal{I} = \{1, \dots, N\}$
$\mathcal{W}$	=	Ensemble des indices représentant les semaines de l'horizon de planification ; $w \in \mathcal{W} = \{1, \dots, W\}$
$\mathcal{H}$	=	Ensemble des indices représentant les jours de l'horizon de planification ; $j \in \mathcal{H} = \{1, \dots, H\}$ où $H = 7 \times W$
$\mathcal{P}$	=	Ensemble des indices représentant les périodes de la journée de travail ; $m \in \mathcal{P} = \{1, 2\}$ où l'indice 1 correspond à la matinée et l'indice 2 correspond à l'après-midi.
$\mathcal{K}$	=	Ensemble des indices représentant les étiquettes à affecter à chaque période de la journée de travail ; $k \in \mathcal{K} = \{1, 2, 3\}$ où l'étiquette 1 correspond à l'activité pré-opératoire, l'étiquette 2 correspond à l'activité per-opératoire et l'étiquette 3 correspond à l'activité post opératoire.
$\mathcal{S}$	=	Ensemble des indices représentant les spécialités ; $s \in \mathcal{S} = \{1, \dots, S\}$

Paramètres

b_{jkms}^{max}	=	Besoin maximum en personnel pour le jour j l'étiquette k la période m et la spécialité s
b_{jkms}^{min}	=	Besoin minimum en personnel pour le jour j l'étiquette k la période m et la spécialité s
a_{is}	=	Matrice d'appartenance du médecin i à la spécialité s
a_{is}^{inv}	=	Matrice de non appartenance du médecin i à la spécialité s
Y_{ij}	=	1 si le médecin i est affecté à la garde de nuit le jour j , 0 sinon
Z_{ij}	=	1 si le médecin i est affecté à la garde de jour le jour j , 0 sinon
G	=	Très grand nombre

7.3.2 Les variables de décision

Les variables de décision sont les variables d'affectation des médecins aux différentes vacations de jours, aux gardes de nuit et aux gardes de jour. Tout comme Beaulieu *et al.* (2000), nous optons pour des variables d'affectation binaires, à la différence près, que deux indices sont ajoutés : la spécialité s et la période m .

X_{ijkms}	=	1 si le médecin i travaille le jour j la vacation k , durant la période m pour la spécialité s , 0 sinon
-------------	---	--

7.3.3 Les contraintes à respecter

Nous exposons dans la suite de cette partie les différentes contraintes, obligatoires et souples, qui doivent être respectées dans l'affectation des médecins anesthésistes.

Contraintes rigides

1. *Contrainte de cohérence*

Un médecin ne peut être affecté qu'à une seule activité par demi-journée.

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{s \in \mathcal{S}} X_{ijkms} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{H} \quad (7.1)$$

2. *Couverture du besoin*

Pour chacune des activités, le nombre de médecins affectés doit être compris entre une borne inférieure $b_{jkms}^{\min}$ et une borne supérieure $b_{jkms}^{\max}$. Lorsque le nombre de médecins requis pour une activité est fixé (cas de l'activité post-opératoire notamment), alors les paramètres $b_{jkms}^{\min}$ et $b_{jkms}^{\max}$ sont de même valeur. Pour les activités pré-opératoires de consultation, nous avons vu qu'une couverture approximative se situant dans un intervalle est suffisante. Nous aurons alors $b_{jkms}^{\min} < b_{jkms}^{\max}$.

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} X_{ijkms} \leq b_{jkms}^{\max} \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall k \in \mathcal{K}, \forall m \in \mathcal{P}, \forall s \in \mathcal{S} \quad (7.2)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} X_{ijkms} \geq b_{jkms}^{\min} \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall k \in \mathcal{K}, \forall m \in \mathcal{P}, \forall s \in \mathcal{S} \quad (7.3)$$

Le cas des activités per-opératoire doit être considéré avec une attention particulière. Le MAR étant assisté d'un infirmier anesthésiste présent en permanence en salle pendant toute la durée de l'intervention, les MAR sont souvent affectés à deux salles en parallèle. Le besoin $b_{jkms}^{\min}$ est alors égal à la moitié du nombre de salles de la spécialité s ouvertes. Pour la plupart des spécialités, le besoin $b_{jkms}^{\max}$ est identique à $b_{jkms}^{\min}$. Cependant, lorsque l'effectif le permet, il sera recherché d'affecter un MAR par salle dans les secteurs les plus contraignants tels que la pédiatrie, l'obstétrique ou la chirurgie d'urgence. Pour ces spécialité, on pourra alors exprimer le besoin $b_{jkms}^{\max}$ comme étant égal au nombre de salles de la spécialité s ouvertes.

3. *Temps de travail par semaine*

Le temps de travail des médecins est limité à 48h par semaine. Si l'on rapporte ce temps de travail au nombre de demi-journées travaillées, la charge hebdomadaire maximale d'un médecin ne devra pas dépasser 10 demi-journées de travail, gardes comprises. Chaque journée de garde Z_{ij} (pour les week-end ou les jours fériés), ainsi que chaque nuit de garde Y_{ij} (pour chaque jour de la semaine) correspondent à deux demi-journées travaillées.

$$\sum_{j=7w-6}^{7w} \left(\sum_{m \in \mathcal{P}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{s \in \mathcal{S}} X_{ijkms} + 2 \times (Y_{ij} + Z_{ij}) \right) \leq 10 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (7.4)$$

4. *Repos post-garde*

La loi impose que le lendemain d'une garde de nuit soit un jour de repos compensateur.

$$Y_{i(j-1)} + \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{k \in \mathcal{K}} X_{ijkms} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{H}, \forall m \in \mathcal{P} \quad (7.5)$$

Contraintes souples

1. Succession des activités entre les périodes m et m'

Dans certains problèmes d'affectation, il existe des contraintes sur la succession des activités auxquelles un individu est assigné sur les périodes m et m' . Dans notre problème, il est préférable qu'un médecin soit affecté à des activités le matin ($m = 1$) et l'après-midi ($m' = 2$) d'un même jour, de manière à éviter des demi-journées de repos ou de travail isolées. Cette contrainte peut être exprimée de manière rigide par l'équation 7.6, c'est-à-dire, qu'il est interdit qu'une seule demi-journée soit travaillée.

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{k \in \mathcal{K}} X_{ijk1s} - \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{k \in \mathcal{K}} X_{ijk2s} = 0 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{H} \quad (7.6)$$

La contrainte de succession d'activités étant une contrainte souple (ou flexible), c'est une contrainte que l'on s'autorise à ne pas satisfaire. Afin d'exprimer ceci dans notre programme linéaire, nous introduisons des **variables d'écart**, qui vont permettre d'assouplir les bornes. Cette approche transpose aux contraintes la technique de Programmation par but (*Goal Programming*) utilisée pour traduire les objectifs multiples dans une seule expression et ainsi assouplir la valeur cible de l'objectif (Partouche, 1998) (Charnes et Cooper, 1977). Lorsqu'une contrainte flexible peut être soit respectée soit violée, on dit qu'elle est binaire (Partouche, 1998). Dans ce cas-là, on associe à chaque contrainte flexible une seule variable d'écart, également binaire, qui sera évaluée à 1 si la contrainte est violée et prendra la valeur 0 sinon. Ces variables d'écart permettent de compter le nombre de contraintes violées sur l'ensemble du problème. L'objectif étant de minimiser le nombre de contraintes violées, il sera formulé en minimisant la somme de ces variables d'écart.

Dans notre situation, une seule variable d'écart binaire ne suffit pas, car plusieurs cas de figure peuvent être envisagés : la contrainte peut être violée par le fait que le matin soit travaillé et l'après-midi soit au repos, ou bien par la situation inverse, c'est-à-dire que le matin est au repos et l'après-midi est travaillé. Nous introduisons deux variables d'écart binaires α_{ij}^+ et α_{ij}^- afin de rendre flexible la contrainte 7.6 qui devient :

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{k \in \mathcal{K}} (X_{ijk1s} - X_{ijk2s}) + \alpha_{ij}^+ - \alpha_{ij}^- = 0 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{H} \quad (7.7)$$

Si le matin est travaillé et l'après-midi est au repos, alors la variable α_{ij}^- prendra la valeur 1. Si le matin est au repos et l'après-midi est travaillé, c'est la variable α_{ij}^+ qui sera égale à 1. Minimiser le nombre de contraintes de succession d'activités violées revient à minimiser le nombre de fois où α_{ij}^+ et α_{ij}^- sont égales à 1, c'est-à-dire à minimiser $\sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{j \in \mathcal{H}} (\alpha_{ij}^+ + \alpha_{ij}^-)$.

2. Continuité dans les visites post-opératoires

Pour assurer la continuité de service dans les unités de soins, le même médecin doit être affecté aux activités post-opératoires durant un minimum de 4 jours par semaine. Ces contraintes ne concernent que l'activité post-opératoire ($k = 3$) qui présente un besoin l'après-midi uniquement ($m = 2$). Pour exprimer ces contraintes nous devons introduire pour chaque médecin i , chaque spécialité s , et chaque semaine w , une variable binaire v_{isw} prenant la valeur 1 si le médecin i est affecté au moins à 4 demi-journées post-opératoires de la spécialité s la semaine w , et 0 sinon.

$$\sum_{j=7w-6}^{7w} X_{ij32s} \geq v_{isw} \times 4 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall s \in \mathcal{S}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (7.8)$$

$$\sum_{j=7w-6}^{7w} X_{ij32s} \leq v_{isw} \times G \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall s \in \mathcal{S}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (7.9)$$

L'équation 7.9, faisant appel au paramètre G qui est un très grand nombre, nous permet d'imposer, lorsque v_{isw} prend la valeur 0, d'affecter le médecin i à aucune activité post-opératoire de la spécialité s durant la semaine w .

La contrainte de suivi post-opératoire est cependant une contrainte souple que l'on s'autorise à ne pas satisfaire si aucune solution faisable n'est trouvée. Une manière de rendre cette contrainte flexible est d'introduire une variable d'écart binaire β_{isw} dans l'équation 7.9, qui nous permettra de compter le nombre de fois où cette contrainte à été violée.

$$\sum_{j=7w-6}^{7w} X_{ij32s} \leq v_{isw} \times G + 3 \times \beta_{isw} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall s \in \mathcal{S}, \forall w \in \mathcal{W} \quad (7.10)$$

3. *Adéquation besoins et groupes de spécialités*

La contrainte souple d'adéquation entre la spécialité requise par l'activité et le groupe de spécialités auquel appartient le médecin affecté ne s'exprime pas à l'aide d'une équation, mais entre directement dans la fonction objectif.

4. *Couverture du besoin maximal*

Pour certaines spécialités et pour certaines activités, pré et per-opératoires, les besoins sont exprimés par une borne minimum et une borne maximum du nombre de personnes requis. Hors, tant que le personnel est disponible et que les autres contraintes sont satisfaites, on cherche à se rapprocher de la borne maximale afin de garantir un plus grand niveau de qualité de service. L'équation 7.11 reprend l'équation 7.2, en transformant le signe $\leq$ par l'association du signe $=$ et d'une variable d'écart entière γ_{jkms} . Cette variable d'écart entrera dans fonction objectif, et nous chercherons à la minimiser.

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} X_{ijkms} + \gamma_{jkms} = b_{jkms}^{max} \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall k \in \mathcal{K}, \forall m \in \mathcal{P}, \forall s \in \mathcal{S} \quad (7.11)$$

7.3.4 L'objectif

L'objectif recherché dans l'affectation des médecins anesthésistes aux activités pré per et post-opératoires possède quatre composantes que nous modélisons dans une seule fonction objectif :

- la minimisation de la non adéquation des compétences des médecins avec les besoins en spécialité, ce qui revient à minimiser le nombre de demi-journées du planning où un médecin est affecté à une activité per ou post-opératoire hors de sa spécialité ;
- la minimisation des demi-journées de repos et de travail isolées, qui revient à minimiser le nombre de contraintes de succession d'activité violées ;
- la minimisation du nombre de contraintes de continuité dans les visites post-opératoires violées ;
- la minimisation de l'écart entre le nombre de personnes affectées et la borne maximum du besoin.

$$\begin{aligned}
\text{Minimiser } Z = & \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{j \in \mathcal{H}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{m \in \mathcal{P}} a_{is}^{inv} X_{ijkms} + \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{j \in \mathcal{H}} (\alpha_{ij}^+ + \alpha_{ij}^-) \\
& + \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{w \in \mathcal{W}} \beta_{isw} + \sum_{j \in \mathcal{H}} \sum_{k \in \mathcal{S}} \sum_{m \in \mathcal{P}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \gamma_{jkms}
\end{aligned} \tag{7.12}$$

Pour traduire la première composante de l'objectif (premier terme), on utilise le coefficient a_{is}^{inv} qui traduit la non appartenance du médecin i à la spécialité s . a_{is}^{inv} est égale à 1 si le médecin i est hors de la spécialité s et égale à 0 sinon. La somme des variables d'affectation associées au coefficient a_{is}^{inv} , permet d'aboutir au nombre de demi-journées affectées à des médecins hors de leur spécialité.

Les trois autres termes de l'objectif ont été décrits plus haut et font entrer en jeux les variables d'écart introduites dans l'expression des contraintes souples.

Il est possible d'enrichir la fonction objectif en ajoutant des coefficients λ_1 à λ_4 aux quatre composantes de la fonction objectif. Ceci permet de traduire une priorité dans l'optimisation des critères. Plus le coefficient est élevé, plus le critère est important à minimiser. Si le décideur préfère ne pas prendre en compte l'un des critères, il suffit de donner la valeur 0 au coefficient du critère. La fonction objectif devient :

$$\begin{aligned}
\text{Minimiser } Z = & \lambda_1 \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{j \in \mathcal{H}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{m \in \mathcal{P}} a_{is}^{inv} X_{ijkms} + \lambda_2 \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{j \in \mathcal{H}} (\alpha_{ij}^+ + \alpha_{ij}^-) \\
& + \lambda_3 \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{w \in \mathcal{W}} \beta_{isw} + \lambda_4 \sum_{j \in \mathcal{H}} \sum_{k \in \mathcal{S}} \sum_{m \in \mathcal{P}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \gamma_{jkms}
\end{aligned} \tag{7.13}$$

Pour évaluer la qualité de la solution, la valeur de la fonction objectif globale ne suffit pas. Afin de guider le planificateur dans le paramétrage des critères (valeurs données aux paramètres λ_1 à λ_4), il est nécessaire de pouvoir évaluer la qualité de la solution obtenue selon les sous-critères séparément. Nous introduisons des indicateurs, I_1 à I_4 qui correspondent aux 4 composantes de l'objectif de l'équation 7.12. L'objectif Z incluant les coefficients λ est exprimé par :

$$Z = \lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 + \lambda_3 I_3 + \lambda_4 I_4$$

Remarque : il est également envisageable de rendre plus fine la fonction objectif en séparant les indicateurs pour chaque type de spécialité ou chaque type d'activité, et en leur associant un coefficient différent. Les valeurs données aux coefficients permettraient de définir une priorité non seulement entre les critères, mais également entre les spécialités ou les activités, voire même, les semaines ou les individus.

7.4 Application au cas du CHV (Centre Hospitalier de Valence)

Le modèle présentée précédemment a été appliqué à la planification des médecins anesthésistes du plateau médico-technique du Centre Hospitalier de Valence, afin de valider notre approche. Cet établissement dispose d'un PMT comprenant 10 salles regroupées sur un même site (bloc central) ainsi que 2 salles d'obstétrique et une salle d'endoscopie digestive (gastro-entérologie) séparées géographiquement du bloc central. Dès fin 2006, ces deux trois parties du PMT seront regroupées autour du bloc central. Malgré l'éloignement actuel des structures

(bâtiments distincts), le personnel d'anesthésie est géré de manière commune, qu'il s'agisse des infirmiers ou des médecins.

L'élaboration du planning des médecins (ou tableau de service) est à l'heure actuelle réalisée manuellement par le chef du service d'anesthésie réanimation, à l'aide du tableur d'Excel. Elaboré avec une anticipation de plusieurs mois (en général 4 mois), le tableau de service recense, sur un horizon d'une semaine, les affectations des médecins aux jours, aux activités (pré, per et post opératoires), aux périodes (matin, après-midi), aux spécialités, ainsi que les gardes et les astreintes. Si les listes de gardes sont élaborées de manière collective lors de réunions à partir d'un trame générée par un logiciel de gestion des gardes, le chef de service a pour tâche de répartir les activités de jours entre les médecins. Désireux de raccourcir le temps consacré à cette tâche administrative, le chef de service nous a manifesté son intérêt pour un outil d'aide à la création de tableau de service, qui offrirait des solutions de qualité comparable à celles obtenues manuellement.

7.4.1 Hypothèses du CHV

Le PMT du CHV a opté pour une programmation par plage horaire avec l'utilisation d'un Plan Directeur d'Allocation de plages (PDA). Ce PDA définit les besoins de chaque spécialité au niveau de l'activité per-opératoire. On distingue 4 groupes de spécialités au sein du PMT. Ces mêmes groupes se retrouvent dans les unités de soin pour l'activité post-opératoire. Le CHV possède un Service d'Accueil des Urgences (SAU) d'importance, qui génère un flux de patient à prendre en charge en urgence au PMT. Le PDA présente donc des plages horaires réservées pour l'accueil des patients non programmés venant du SAU, mais également pour les imprévus (reprise de chirurgie, programmation tardive, etc.) qui relèvent de l'un des quatre groupes de spécialités. Cette part non négligeable d'activité d'urgence absorbée par le PMT nous incite à considérer une cinquième spécialité, qui couvre l'ensemble des quatre groupes. Nous plaçons également dans cette cinquième spécialité la gastro-entérologie, qui ne relève pas d'un des 4 groupes de spécialités, et peut, tout comme l'urgence, être prise en charge par tout médecin du pool. Cette cinquième spécialité nous sera également utile pour exprimer le besoin et réaliser l'affectation des médecins aux activités pré-opératoires, qui pour le cas du CHV, sont organisées en unité de consultation polyvalente couvrant toutes les spécialités. Par contre, le suivi post-opératoire des patients de cette cinquième spécialité est géré par les autres spécialités.

- Spécialité 1** La chirurgie viscérale et l'urologie
- Spécialité 2** L'orthopédie et la neurochirurgie
- Spécialité 3** L'ORL, l'ophtalmologie et la chirurgie ambulatoire
- Spécialité 4** La maternité, la gynécologie-obstétrique et la pédiatrie
- Spécialité 5** Toutes spécialités : consultations polyvalentes (pré-opératoire), chirurgie d'urgence et gastro-entérologie (per-opératoire)

Le pool de médecins anesthésistes réanimateurs (MAR) est composé de 15 médecins, travaillant à temps complet. Chaque médecin est rattaché à un groupe de spécialités parmi les 4 premiers, mais possède les compétences nécessaires à la prise en charge de l'anesthésie des patients dans d'autres spécialités. La matrice a_{is} d'appartenance des médecins aux spécialités présente un 1 lorsque le médecin i (ligne) appartient au groupe de spécialité s (colonne), tandis que la matrice a_{is}^{inv} de non appartenance des médecins aux spécialités présente un 0. Tous les médecins appartiennent à la spécialité 5 (dernière colonne).

$$a_{is} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad a_{is}^{inv} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Les besoins b_{jkms}^{max} et b_{jkms}^{min} pour chaque jour, chaque activité, chaque période et chaque spécialités sont connus :

- **La demande en activité pré-opératoire** est exprimée à l'aide des deux bornes et elle est identique pour tous les jours de la semaine. Il s'agit de consultations polyvalentes regroupant les patients de toutes les spécialités. Ainsi pour les 4 groupes de spécialité ($s = 1...5$), nous avons :

$$b_{j1ms}^{max} = b_{j1ms}^{min} = 0 \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall m \in \mathcal{P}, \forall s \in \mathcal{S} - \{5\}$$

tandis que pour la cinquième spécialité ($s = 5$) qui couvre toutes les autres, nous avons :

$$b_{j1m5}^{max} = 3 \geq b_{j1m5}^{min} = 1 \geq 0 \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall m \in \mathcal{P}$$

- **La demande en activité per-opératoire** est dictée par le PDA, qui est élaboré pour les semaines paires et les semaines impaires. Il existe peu de différences de répartition des plages opératoires entre les semaines paires et impaires : elles portent principalement sur les plages allouées à la gastro-entérologie ou sur la répartition de plages opératoires entre les chirurgiens à l'intérieur d'un même groupe de spécialités. Un PDA spécial est conçu pour les vacances scolaires, mais dans les expérimentations, nous considérons uniquement le PDA des périodes régulières.

Pour certaines spécialités ($s=1...3$), la demande est exprimée par un besoin fixe, qui correspond à la moitié de n_{jms} , le nombre de salles opératoires allouées le jour j au groupe de spécialités s sur la demi-journée m (pratique « un MAR pour deux salles » footnote Si cette pratique est adoptée, alors la présence d'un IADE par salle est demandé). Ainsi :

$$b_{j2ms}^{max} = b_{j2ms}^{min} = \frac{n_{jms}}{2} \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall m \in \mathcal{P}, \forall s \in \{1, 2, 3\}$$

Pour les secteurs plus contraignants tels que la spécialité 4 (maternité obstétrique et pédiatrie) ou la spécialité 5 (chirurgie d'urgence), le besoin est exprimé à l'aide d'une borne minimum correspondant à la pratique « un MAR pour deux salles » et d'une borne maximum correspondant à la pratique « un MAR par salle » :

$$b_{j2ms}^{max} = n_{jms} \geq b_{j2ms}^{min} = \frac{n_{jms}}{2} \quad \forall j \in \mathcal{H}, \forall m \in \mathcal{P}, \forall s \in \{4, 5\}$$

- **La demande en activité post-opératoire** a été définie par une analyse de la charge de travail en unité de soins pour les médecins. Le secteur de chirurgie viscérale et urologie ($s = 1$), plus chargé que les autres, nécessite la présence de deux MAR pour effectuer les visites post-opératoires, tandis que pour les autres spécialités ($s = 2...4$), un seul MAR suffit. Notons que les visites post-opératoires n'ont lieu que l'après midi ($m = 2$) et qu'il n'y a pas de visites postopératoires pour la spécialité 5 :

$$\begin{aligned}
 b_{j31s}^{max} &= b_{j31s}^{min} = 0 & \forall j \in \mathcal{H}, \forall s \in \mathcal{S} \\
 b_{j325}^{max} &= b_{j325}^{min} = 0 & \forall j \in \mathcal{H} \\
 b_{j321}^{max} &= b_{j321}^{min} = 2 & \forall j \in \mathcal{H} \\
 b_{j32s}^{max} &= b_{j32s}^{min} = 1 & \forall j \in \mathcal{H}, \forall s \in \{2, 3, 4\}
 \end{aligned}$$

Le processus de distribution des gardes de jour (pour les jours fériés et les week-end) et des gardes de nuit (pour chaque jour de la semaine) est effectué en amont du problème d'affectation des activités de jour, à l'aide d'un logiciel de gestion de gardes médicales. Ce logiciel, qui intègre les préférences des médecins et les besoins, permet d'élaborer une première liste de répartition des gardes pour un quadrimestre. Cette première liste est ensuite discutée par les médecins. A partir des listes de gardes, nous obtenons la valeur du paramètre Y_{ij} (respectivement Z_{ij}) égale à 1 si le médecin i est affecté le jour j à une garde de nuit (respectivement de jour). Entre un et deux médecins sont affectés aux gardes de jour et gardes de nuit, qui sont soit des gardes d'anesthésie, soit des gardes de réanimation. Cette variation dans le besoin en MAR pour les gardes vient du fait qu'une partie des gardes de réanimation est assurée par un personnel ne faisant pas partie du pool des MAR que nous considérons ici.

7.4.2 Expérimentations et discussions

Le modèle de PLNE que nous avons proposé a été résolu pour le cas des MAR du CHV à l'aide de la procédure de séparation et évaluation du solveur libre de PLNE GLPK que nous avons présenté dans le chapitre précédent. Afin de valider les résultats fournis par le solveur GLPK, nous avons également testé le modèle, à partir des mêmes jeux de données, sur le solveur de référence CPLEX.

L'objectif du modèle est multi-critère ; on cherche à minimiser le nombre de contraintes souples violées de quatre types qui traduisent le respect :

1. de l'adéquation des affectations aux spécialités
2. des jours travaillés au complet
3. de la continuité du suivi post-opératoire
4. du besoin maximum.

Les expérimentations ont été réalisées en attribuant différentes valeurs aux poids (λ_1 à λ_4) de chacun des critères (I_1 à I_4). Plus la valeur du paramètre λ_c est élevée, plus le critère c prend de l'importance dans la fonction objectif que l'on minimise : les contraintes de ce type seront alors en priorité respectées. Plusieurs jeux de pondérations des critères ont été testés, afin de traduire différentes priorités que peut donner le chef de service au respect de chaque type de contraintes.

Une première série d'expérimentations nous a montré que l'indicateur traduisant le respect des contraintes de type 3 de continuité du suivi post opératoire dans les étages était presque toujours égal à 0, quelles que soient les valeurs données aux pondérations des autres critères. Le respect de ce type de contraintes n'est donc pas contradictoire avec la satisfaction des autres types de contraintes. A contrario, nous avons remarqué l'incompatibilité des critères 2 et 4 :

ils évoluent dans des sens opposés. Le premier indique le nombre de demi-journées travaillées isolées (soit le matin soit l'après-midi), tandis que le second indique l'écart entre le nombre de personnes affectées et la borne supérieure du besoin. Si peu de demi-journées sont travaillées de manière isolée (critère 2), il est difficile fournir un niveau de service proche du besoin maximum (critère 4). Inversement, si les besoins maximum sont respectés, plusieurs médecins sont obligés de travailler durant une seule demi-journée. Ce phénomène s'explique par le fait que la table des besoins présente un déséquilibre entre le nombre de médecins requis le matin et ceux nécessaires à la réalisation des activités de l'après-midi : en effet, les activités de suivi post-opératoires n'ont lieu que l'après-midi. Cette caractéristique intrinsèque du problème ne peut malheureusement pas être modifiée. Une solution pour obtenir un équilibre serait de reporter certains besoins sur les matinées, tels que ceux liés aux activités pré-opératoires de consultation. Dans le cas du CHV, un problème de salles de consultations présentes en nombre limité fait obstacle à ce transfert. Le comportement du critère 1, portant sur l'adéquation entre le groupe de spécialités du médecin affecté et le besoin, n'a pas pu être identifié à partir de ces premières expérimentations. Ainsi la solution optimale sera fonction du poids donné par le chef de service à chacun des critères.

Nous avons retenu 5 jeux de pondérations présentées dans le tableau 7.1. Dans le problème 1, une importance identique est donnée à chaque critère. Dans le problème 2, la priorité est attribuée au critère portant sur le respect des successions d'activités (minimisation des demi-journées isolées). Le problème 3 place à un niveau supérieur le critère de succession d'activités et celui de l'adéquation des spécialités par rapport aux autres critères. Le problème 4 met en avant le critère de respect du besoin maximum. Enfin le problème 5, reprend les priorités du problème 2 en augmentant le poids du critère de succession d'activités.

Poids des critères	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Problème 1	1	1	1	1
Problème 2	1	2	1	1
Problème 3	2	2	1	1
Problème 4	1	1	1	2
Problème 5	1	4	1	1

TAB. 7.1 – Pondérations des critères

Chaque problème a été expérimenté sur des horizons de 7, de 14 et de 28 jours. Les résultats fournis par chaque solveur utilisé sont retranscrits dans le tableau 7.2. Ce tableau indique la valeur de l'objectif global (Obj), ainsi que les valeurs de chaque critère (I_1 à I_4), et la somme des critères ($\sum_c I_c$). Le temps CPU est donné en secondes.

Sur un horizon de 7 jours, GLPK et CPLEX obtiennent la solution optimale en quelques secondes. Cette solution, bien qu'optimale, ne respecte cependant pas toutes les contraintes souples (Obj > 0). Les difficultés rencontrées par le chef de service pour l'élaboration manuelle des plannings se retrouvent également avec les outils de construction automatique, puisqu'elles résident dans la nature des besoins à couvrir et dans leur répartition déséquilibrée sur la journée : l'après-midi est plus chargée que le matin, à cause des activités post-opératoires ayant lieu exclusivement l'après-midi. Si les deux solveurs obtiennent la même valeur de l'objectif, on remarque une variation au niveau des valeurs des indicateurs. Cette différence est encore plus marquée sur l'horizon de 14 jours. Si une priorité plus grande est donnée à la minimisation des demi-journées isolées, l'algorithme de séparation et évaluation du solveur GLPK a tendance à équilibrer le nombre de contraintes violées de type 1 (adéquation des spécialités) et de type 4 (respect du besoin maximal), tandis que l'algorithme utilisé par CPLEX obtient une solution dans laquelle le critère d'adéquation des spécialités est mieux respecté mais qui satisfait moins bien les besoins maximaux.

	Poids				GLPK							CPLEX						
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	I_1	I_2	I_3	I_4	$\sum_c I_c$	Obj	CPU	I_1	I_2	I_3	I_4	$\sum_c I_c$	Obj	CPU
7 jours	1	1	1	1	4	8	0	9	21	21	3,29	4	7	0	10	21	21	2,43
	1	2	1	1	4	3	0	14	21	24	3,02	4	3	0	14	21	24	1,58
	2	2	1	1	4	3	0	14	21	28	3,53	3	3	0	16	22	28	1,61
	1	1	1	2	5	12	0	5	22	27	2,48	5	12	0	5	22	27	1,13
	1	4	1	1	4	3	0	14	21	30	5,84	4	3	0	14	21	30	1,84
14 jours	1	1	1	1	16	15	0	12	43	43	39,48	8	16	0	19	43	43	2,97
	1	2	1	1	18	6	0	19	43	49	102,74	8	6	0	29	43	49	4,41
	2	2	1	1						58	(2)	8	6	0	29	43	57	6,57
	1	1	1	2	21	24	0	6	51	57	134,60	9	22	0	13	44	57	6,46
	1	4	1	1	18	6	0	19	43	61	174,83	8	6	0	29	43	61	5,03
28 jours	1	1	1	1							(1)	14	28	1	42	85	85	487,24
	1	2	1	1							(1)	14	12	1	58	85	97	210,78
	2	2	1	1						125	(2)	12	12	1	62	87	111	33,07
	1	1	1	2							(1)	18	48	1	22	89	111	48,66
	1	4	1	1							(1)	14	12	1	58	85	121	65,67

(1) aucune solution entière n'a été trouvée en 20 minutes de calcul

(2) une solution entière a été trouvée, pas de deuxième solution en 20 minutes, optimalité non prouvée

TAB. 7.2 – Résultats plannings MAR

Le meilleur jeu de poids des critères est difficile à déterminer au vu de ces résultats uniquement. Le choix des valeurs des paramètres dépend surtout des priorités du médecin chef : estime-t-il que les besoins doivent-être couverts au maximum ? Ou bien privilégie-t-il la satisfaction des médecins, en attribuant autant que possible des journées entières de travail ? Dans la pratique, les problèmes qui aboutissent au planning se rapprochant le plus de ceux réalisés à la main sont les problèmes donnant une part plus importante à la minimisation des demi-journée isolées. Ainsi il n'est pas rare, que le personnel affecté l'après-midi couvre uniquement le besoin minimum, alors que le besoin maximum est plus facile à couvrir le matin. Une analyse des plannings des médecins réalisés par le chef de service, que nous avons menée sur 8 semaines, nous a montré que 31 contraintes souples étaient violées en moyenne sur un planning hebdomadaire. La répartition moyenne des contraintes violées est celle donnée par le tableau 7.3. Cette répartition semble être en accord avec les résultats obtenus automatiquement, et nous conforte dans l'idée qu'un bon planning sera celui qui respecte en priorité les contraintes de jours travaillés au complet.

Critères	I_1	I_2	I_3	I_4	$\sum_c I_c$
Valeurs moyennes par semaine	5	5	2	19	31

TAB. 7.3 – Analyse des plannings hebdomadaires réels

Sur l'horizon de 28 jours, le nombre de variables à gérer est trop important pour que le solveur GLPK obtienne une solution optimale en un temps raisonnable. Nous avons donc du interrompre la résolution au bout de 20 minutes de calcul. Pour un jeu de pondération (problème 3), le solveur obtient une solution entière qui respecte les contraintes obligatoires mais n'optimise pas le respect des contraintes souples. Dans les autres cas (problèmes 1,2, 4 et 5), aucune solution entière faisable n'est trouvée en 20 minutes de calcul. CPLEX quant à lui obtient la solution optimale en un temps assez court inférieur à 10 minutes. La supériorité de CPLEX pour résoudre efficacement les problèmes de grande taille n'est plus à prouver. Néanmoins, il nous semble que les performances de GLPK pour résoudre le PPMA sur un horizon de 14 jours en moins de trois minutes sont très encourageantes, puisque l'élaboration d'un planning hebdomadaire est un tâche qui occupe le chef de service pendant une demi-

journée en moyenne. Pour générer le planning annuel (52 semaines), 26 problèmes devront être résolu avec GLPK, alors que 13 suffiront avec CPLEX. Les bénéfices du solveur libre d'utilisation nous semblent ici supérieurs à ceux du nombre de problèmes à résoudre.

7.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un modèle original pour la construction automatique des plannings des médecins anesthésistes. La modélisation à l'aide de la programmation linéaire en nombres entiers a été présentée et évaluée sur le cas concret des médecins anesthésistes du Centre Hospitalier de Valence. Le solveur de programmation linéaire GLPK semble suffisant pour résoudre ce type de problèmes sur un horizon de 7 ou de 14 jours, mais se révèle faible lorsque le problème atteint la taille du mois. Néanmoins cette lacune n'est pas rédibitoire pour une utilisation hebdomadaire ou bimensuelle par le chef de service. Ceci nous amène à prévoir prochainement l'intégration du programme que nous avons développé au tableau de service utilisé actuellement pour l'élaboration manuelle des plannings.

Conclusion

Le regroupement des activités de chirurgie de différentes spécialités et modes de prise en charge au sein d'un plateau médico-technique (PMT) pluridisciplinaire est un défi auquel doivent faire face un grand nombre d'établissements de santé français. Ce secteur représente un enjeu d'autant plus important qu'il réunit des ressources humaines et matérielles à la fois rares, coûteuses et hautement qualifiées. Le processus de regroupement des blocs opératoires et de création du PMT engendre des problèmes liés d'une part à la conception des futures installations et au choix de l'organisation à mettre en place, et d'autre part au pilotage des flux et des ressources mutualisées. Les travaux présentés dans ce mémoire s'intéressent aux problématiques liées à la mutualisation des ressources humaines, au niveau du dimensionnement des pools de personnels et au niveau de leur pilotage.

Bilan

Avant d'énoncer les pistes de réflexions prolongeant et élargissant notre travail de recherche, nous retraçons ici les principaux apports de cette thèse.

L'un des objectifs était de faire un état des lieux de la situation du monde hospitalier français en 2006, et principalement d'**analyser les impacts des regroupements hospitaliers sur le secteur chirurgical**. Les partenaires hospitaliers du projet HRP², allant du CHU à la clinique privée, en passant par le centre hospitalier PSPH et le centre hospitalier général, constituent un échantillon représentatif de la variété des établissements français et de la variété des plateaux médico-techniques. Forts de nos connaissances sur les PMT de nos partenaires acquises par la formalisation des processus à l'aide d'outils de modélisation, nous avons pu clarifier les processus du PMT, identifier les facteurs influençant l'organisation d'un PMT et caractériser la diversité des structures (chapitre 1). Après avoir précisé les différentes problématiques soulevées par le regroupement des activités de chirurgie au sein du PMT (chapitre 2), nous avons mis en évidence l'importance à accorder au dimensionnement et à la planification des ressources humaines du PMT. Ce constat a orienté la troisième partie de notre revue de l'état de l'art vers les approches de modélisation et de résolution des problèmes de planification d'horaires de travail en milieu hospitalier, tandis que les deux premières parties abordaient la littérature ayant trait à la réingénierie des organisations hospitalières, au dimensionnement et à la planification des ressources matérielles du PMT (chapitre 3).

En réponse aux besoins des partenaires hospitaliers et compte tenu des travaux existants de la littérature, nous avons élaboré une **démarche d'aide à la conception et au pilotage du PMT, avec les ressources humaines comme angle d'approche** (chapitres 4 à 7). Cette démarche représentée graphiquement par la figure 4.1 aborde 3 principaux problèmes :

– *Modélisation, diagnostic et évaluation de la performance*

Nous avons modélisé, à l'aide de la méthode et des modèles ARIS, les processus opérant et de décision du PMT regroupé de deux de nos partenaires (le CHSJSJL et le CHV) pour répondre à plusieurs objectifs. D'une part, il s'agissait de clarifier les processus afin de mieux comprendre le fonctionnement, de communiquer sur les pratiques, d'effectuer un diagnostic de l'organisation en place et d'engager une démarche d'amélioration de la performance par le pilotage des indicateurs. D'autre part, grâce aux connaissances des processus de ces deux partenaires, couplées aux modèles des processus des trois autres partenaires (voir section 4.1) réalisés par les membres du projet HRP², nous avons élaboré un modèle de processus générique, couvrant l'ensemble des pratiques envisageables (chapitre 4). Ce modèle de processus générique paramétrable constitue un élément majeur du démonstrateur, outil d'aide au dimensionnement et au choix d'organisation du PMT, à la conception duquel nous avons participé dans le cadre du programme HRP² et qui est actuellement développé par le LASPI.

– *Dimensionnement du personnel par construction des vacations couvrant une charge prévisionnelle*

Nous avons proposé d'aborder le dimensionnement du personnel du PMT par la résolution du problème de construction des vacations à partir d'une courbe de charge exprimant le besoin en personnel par période, en adaptant le modèle de couverture d'ensemble de Dantzig. Contrairement à d'autres approches qui considèrent la charge comme connue et cherchent seulement à définir les horaires de travail, nous avons cherché à obtenir cette courbe de charge par la simulation de flux. Nous avons contribué à la conception du démonstrateur en fournissant, d'une part un cadre pour la spécification de l'organisation des ressources humaines du PMT, qui permet de modéliser et de simuler avec finesse son fonctionnement réel et d'autre part un outil de construction des vacations. Avec l'expérimentation de deux approches hybrides sur le cas du personnel de nettoyage, nous avons également montré l'intérêt de compléter la construction des vacations par l'évaluation de la qualité de la solution à l'aide de la simulation, dans un processus itératif (chapitre 5). Les résultats de ce problème constituent l'une des entrées de l'élaboration des plannings de travail.

– *Élaboration de plannings de travail*

Nous nous sommes intéressés à deux problèmes cruciaux de planification de personnels mutualisés : le problème de planification des infirmiers anesthésistes (PIIA) et le problème de planification des médecins anesthésistes (PPMA). Soucieux de produire des modèles les plus généraux possibles tout en conservant une fidélité vis-à-vis des problèmes réels rencontrés, nous avons pris en compte une grande partie des contraintes citées dans la littérature, et les contraintes spécifiques à chacun de ces problèmes.

L'originalité du PPIA que nous avons étudié et résolu (chapitre 6) réside dans la recherche d'équité entre les infirmiers, modélisée à l'aide de pénalités associées à chaque vacation. Aucune des deux méthodes de résolution, soit la PLM (programmation linéaire en nombres mixtes) et la PPC (programmation par contraintes), n'arrive à obtenir la solution optimale en un temps acceptable. Mais nous avons montré que l'approche PLM s'approche de la solution optimale avec un plus petit écart et plus rapidement que l'approche PPC.

Pour la résolution du PPMA (chapitre 7), nous avons privilégié et exploité les techniques de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE), dans la mesure où nous cherchons à optimiser une fonction objectif composée de plusieurs critères pondérés (maximisation du respect de contraintes souples). Pour le cas réel sur lequel nos expé-

rimentations ont été menées, la solution optimale est obtenue en quelques secondes de calcul, tandis qu'à l'hôpital l'élaboration d'un planning hebdomadaire mobilise le chef de service une demi-journée de travail, pour une qualité du planning comparable. Bien qu'optimale, cette solution ne respecte cependant pas toutes les contraintes souples : ceci provient d'un déséquilibre de la demande inhérent au cas concret considéré. Le décideur peut alors jouer sur le poids donné à chaque type de contraintes souples (critères) pour orienter la solution obtenue.

Enfin, **notre apport se situe sur un plan de transfert d'outils**. Pour la résolution des différents problèmes abordés, nous avons expérimenté et parfois finalement sélectionné parmi d'autres, le solveur libre de programmation linéaire mixte GLPK. Encapsulé dans une application interactive, cet outil peut être utilisé par les décideurs hospitaliers sans que des frais d'acquisition de logiciels soient nécessaires. Nous avons montré pratiquement que ses performances se rapprochent de celles du solveur commercial CPLEX pour résoudre le problème de planification des médecins anesthésistes, tant que l'horizon de planification n'excède pas 14 jours. Par ailleurs, ce même solveur, intégré au démonstrateur développé au sein du projet HRP², s'est révélé tout à fait performant pour résoudre le problème de construction des vacations. Par contre, nous avons observé que pour le problème de planification des infirmiers anesthésistes, ce solveur libre semblait insuffisant, dans l'état actuel du modèle. Nous abordons ce point dans les perspectives.

Perspectives

Les travaux exposés ouvrent la voie à de nombreuses perspectives pour approfondir la recherche d'une part et l'élargir d'autre part.

Le modèle de couverture de la charge intégré au démonstrateur et permettant de construire les vacations gagnerait à être enrichi par la diminution de la durée des périodes considérées, par exemple en passant de 1 heure à 15 minutes. Cette finesse dans la période de définition de la charge augmenterait significativement le nombre de variables entières à considérer. Il faudrait alors vérifier la capacité du solveur libre GLPK à résoudre les problèmes de couverture de cette taille. Par ailleurs, il serait également intéressant de considérer l'ajustement de la charge période par période et non plus globalement sur la journée. Il s'agirait alors de déterminer indépendamment pour chaque période le pourcentage minimum de la charge moyenne à couvrir. Une autre perspective serait de modifier le modèle en autorisant le surplus et le déficit de personnel.

Afin de faciliter la résolution du PPIA par le solveur libre GLPK, il serait utile de scinder le problème en plusieurs sous-problèmes : affectation des vacations de nuit, affectation des repos, affectation des vacations de jour. Chacun des sous-problèmes comportant un nombre moins élevé de variables, il serait alors plus aisément résolu. Il faudrait cependant articuler la résolution des sous-problèmes et recomposer la solution finale. Dans une optique de généralisation du modèle du PPIA, dans lequel les infirmiers sont pour l'instant considérés comme polyvalents et homogènes en termes de qualifications, il serait intéressant d'intégrer des aspects liés aux compétences des infirmiers, afin de le rendre applicable au cas du personnel dont le travail est davantage relié aux spécialités chirurgicales, tel que les IBODE. Par ailleurs, de nouvelles stratégies de recherche plus performantes que la stratégie employée pour l'approche PPC pourraient être développées.

Il serait intéressant d'appliquer les techniques de PPC pour résoudre le problème de planification des médecins anesthésistes (PPMA), comme nous l'avons expérimenté pour le cas

des infirmiers anesthésistes. Au vu des résultats satisfaisants fournis par la PLNE, il semble plus facile d'arriver à la solution optimale pour le PPMA que pour le PPIA. On peut alors également supposer, en admettant qu'une stratégie de recherche adaptée et efficace soit développée, que la PPC, si elle se comporte comme la PLNE, pourrait aboutir à de bons résultats. Une fois la valeur de l'objectif optimale trouvée par la PLNE, la PPC pourrait notamment être très utile pour fournir au décideur l'ensemble des solutions optimales parmi lesquelles il pourrait choisir celle qui lui convient le mieux, avantage que ne propose pas les solveurs de PLNE. Des seuils de sélection sur les valeurs des critères devraient alors être mis en place afin de réduire le nombre de solutions optimales proposées. Dans le but de conserver le bénéfice des solveurs libres, l'utilisation d'un solveur de contraintes efficace, tel que CHOCO (Laburthe, 2000; Laburthe *et al.*, 2004), pourrait être très profitable.

Annexe A

Glossaire

Activité : Réalisation concrète d'une tâche par un acteur.

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité - Méthode permettant de hiérarchiser les facteurs impactant un dysfonctionnement.

ANAES : Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé.

Analyse systémique : Approche permettant d'appréhender les systèmes complexes de manière globale.

Approche processus : Application d'un système de processus au sein d'un organisme, ainsi que l'identification, les interactions et le management de ces processus.

ARH : Agence Régionale d'Hospitalisation.

ARTT : Aménagement et réduction du temps de travail.

AS : Aide Soignant.

ASH : Agent de Service Hospitalier.

Brancardier : Externe : Agent hospitalier responsable du transport du patient entre les différents services d'un hôpital, notamment entre le lieu d'hospitalisation du patient et le plateau médico-technique. Interne : Agent dédié au PMT, il se charge du transport du patient entre les salles (accueil, transfert, induction, intervention, réveil).

BS : Block scheduling, ou Programmation par allocation préalable de plages.

CBR : Case Based Reasonning - Méthode de raisonnement à base de cas utilisant une approche par analogie.

CCAM : Classification commune des actes médicaux - Nomenclature française destinée à coder les gestes techniques pratiqués par les médecins, elle classe les actes en Groupes Homogènes de Séjours (GHS) autrefois appelés Groupes Homogènes de Malades (GHM).

CH : Centre Hospitalier.

CHU : Centre Hospitalo-Universitaire.

Chaîne de valeur : Permet d'analyser les différentes activités d'une entreprise, en identifiant comment chacune d'elles contribue à l'obtention d'un avantage compétitif. Permet également d'évaluer les coûts qu'occasionnent les différentes activités.

CHIR : Chirurgien.

Compétence : Combinaison de ressources incorporées (savoir, savoir faire, savoir être) à une ressources humaine et de ressources de son environnement.

- Contrainte souple :** Contrainte qu'il est possible de ne pas satisfaire, par opposition à une contrainte rigide.
- Démonstrateur :** Outils d'aide au dimensionnement et au choix d'organisation, conçu au sein du projet HRP² et développé par le LASPI.
- DMS :** Dispositif Médical Stérile.
- DRESS :** Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques.
- DRG :** Diagnosis Related Group.
- DT :** Dotation globale.
- GHM :** Groupe Homogène de Malades - La classification commune des actes médicaux classe les actes en GHM, qui sont les DRG (Diagnosis Related Group) français.
- GHS :** Groupes homogènes de séjour.
- GLPK :** GNU Linear Programming Kit - Bibliothèque logicielle libre pour la programmation linéaire <http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>.
- HAS :** Haute Autorité de Santé.
- HRP² :** Hôpitaux regroupement partage et Pilotage - Programme de la région Rhône-Alpes regroupant 4 laboratoires universitaires (PRISMa, LASPI, LAG, LASS) et 5 établissements hospitaliers impliqué dans des projets de regroupements (HCR, CHUSE, CHSJSL, CHV, CHPL).
- IADE :** Infirmier Anesthésiste Diplômé d'État.
- IBODE :** Infirmier de Bloc Opératoire Diplômé d'État.
- IDE :** Infirmier Diplômé d'État.
- ILOG Cplex :** Solveur de programmation linéaire, continue, entière ou mixte.
- ILOG Solver :** Solveur de programmation par contraintes.
- LINGO :** Solveur de programmation linéaire.
- MAR :** Médecin Anesthésiste Réanimateur.
- MBS :** Modified Block Scheduling ou Programmation par allocation préalable de plages et processus d'ajustement.
- MCO :** Médecine Chirurgie Obstétrique.
- MeaH :** Mission d'expertise et d'audit Hospitalier.
- Méthode d'analyse :** Technique d'investigation d'un système caractérisée par un ensemble de règles établies, définissant un mode d'emploi qui permet d'appréhender le système.
- Méthodologie de modélisation :** Ensemble de méthodes utilisant des formalismes de modélisation et des outils de représentation associés, ainsi que des modèles de références.
- Modèle :** Représentation d'une abstraction du monde réel exprimée dans un langage de représentation qui peut être formel (syntaxe et sémantique strictement définies), semi-formel (notation graphique normalisée) ou informelle (description en langage naturel).
- Modèle d'entreprise :** Ensemble de modèles décrivant divers aspects de l'entreprise tels que : les fonctions, les ressources, les processus, les informations, la structure organisationnelle, etc., selon différents niveaux de détail.
- Optimisation combinatoire :** Branche de l'optimisation en mathématiques appliquées et en informatique, également liée à la recherche opérationnelle, l'algorithmique et la théorie de la complexité. Un problème d'optimisation combinatoire consiste à trouver la meilleure solution dans un ensemble discret dit ensemble des solutions réalisables.
- OQN :** Objectif National Quantifié.

OS : Open Scheduling ou Programmation ouverte.

Pause : Ensemble de périodes non travaillées d'une journée.

PDA : Plan Directeur d'Allocation des plages horaires - Principal instrument de construction du programme opératoire, dans le cas du mode de programmation par allocation préalable de plages (*Block Scheduling* ou *Modified Block Scheduling*).

Période : Intervalle de temps pour laquelle la charge journalière est définie.

PLNE : Programmation Linéaire en Nombres Entiers.

PLM : Programmation Linéaire en nombres Mixtes.

PMSI : Programme de Médicalisation du Système d'Information.

PMT : Plateau Médico-Technique.

PIIA : Problème de planification des infirmiers anesthésistes.

PPMA : Problème de planification de médecins anesthésistes.

Problème de Construction de Vacations (PCV) : Consiste à déterminer les horaires de travail permettant de couvrir une charge définie de manière quotidienne au moindre coût.

Problèmes de Construction de Planning (PCP) : Consiste à élaborer le programme de travail d'une classe de personnel, couvrant une charge exprimée sous la forme d'une table des besoins, tout en vérifiant un ensemble de contraintes. Les affectations précisent les horaires de travail (vacations) ainsi que le type d'activité.

Procédure de séparation et évaluation : Appelée selon le terme anglo-saxon *branch and bound*, c'est une méthode générique de résolution de problèmes d'optimisation, et plus particulièrement d'optimisation combinatoire ou discrète. Elle est en particulier au cœur des solveurs de programmation linéaire en nombres entiers.

Processus : Regroupement cohérent d'activités, disposant de ressources, alimenté par des entrées, qui sont transformées en sorties en y apportant une valeur ajoutée pour le « client ».

Programmation linéaire (PL) : Branche de l'optimisation permettant de résoudre de nombreux problèmes économiques et industriels. Un problème de programmation linéaire consiste à déterminer l'ensemble des valeurs numériques satisfaisant un certain nombre de contraintes.

Programmation opératoire : Processus de construction du planning (ordonnancé ou non) des interventions qui vont se dérouler durant une période sur chacune des salles opératoires.

Programmation par contraintes (PPC) : Forme de programmation fournissant un cadre et des méthodes pour la résolution de problèmes définis sur des domaines finis (par exemple : intervalles de nombres entiers, intervalles d'ensembles). Dans les algorithmes de programmation par contraintes, la propagation de contraintes permet de réduire les domaines des variables, dans le but d'accélérer le parcours de l'arbre de recherche.

PSPH : Participant au Service Public Hospitalier. Un établissement PSPH est privé à but non lucratif.

Recherche opérationnelle : Ensemble des méthodes et techniques rationnelles d'analyse et de synthèse des phénomènes d'organisation utilisables pour élaborer de meilleures décisions (appelée aussi aide à la décision).

Salle d'induction : Salle du PMT contenant une ou plusieurs places, dans laquelle sont réalisées la préparation du patient à l'anesthésie, voire son anesthésie.

- Salle d'intervention :** Salle du PMT dans laquelle est réalisée l'opération d'un patient.
- Sas de transfert :** Zone du PMT située entre la salle d'accueil et le reste du bloc opératoire, dans laquelle est réalisé le transfert du patient de son lit sur la table d'opération (dans le cas d'une table mobile sur chariot) ou sur un brancard interne.
- SAU :** Service d'accueil des urgences.
- SCOR :** Supply Chain Operations Reference - Modèle de référence de la chaîne logistique défini par le Supply Chain Council (SCC).
- SFAR :** Société Française d'Anesthésie Réanimation.
- SI :** Système d'Information.
- SIH :** Système d'Information Hospitalier.
- SROS :** Schéma Régional d'Organisation Sanitaire.
- SSPI :** Salle de Surveillance Post Interventionnelle (i.e. Salle de réveil) : lieu de séjour du patient après l'intervention chirurgicale.
- T2A :** Tarification à l'activité.
- Table des besoins :** Exprime le besoin en nombre de vacations de type k devant être effectuées le jour j . Elle peut contenir une seule valeur (besoin fixe) ou bien deux bornes minimale et maximale (intervalle de couverture).
- Tour :** Enchaînement de vacations et de repos sur un horizon défini, généralement une semaine.
- UPATOU :** Unité de proximité d'accueil, de traitement et d'orientation des urgences.
- Vacation :** Horaires de début et de fin d'une journée de travail, précisant les pauses.

Annexe B

Structures juridiques des établissements

Nous évoquons ici les différents statuts juridiques des établissements français. Cette annexe vient compléter la section 1.2.4 du chapitre 1.

Secteur public

Présent sur tous les segments d'activité, le secteur public est organisé en hiérarchie offrant une gamme croissante de soins. Dans les établissements à vocation générale, on distingue les Centres Hospitaliers Régionaux (CHR), souvent associés à des facultés de médecine (CHU), et les Centres Hospitaliers (CH), établissements locaux dont la gamme de soins est moins étendue, tout deux étant placés sous la tutelle des Agences Régionales d'Hospitalisation (ARH). Le secteur public assure la quasi-totalité des soins de longue durée et le CHR offre les soins les plus spécialisés de la région dans tous les types de séjours.

Au niveau du financement, avant la mise en place progressive de la T2A, les établissements publics étaient soumis à la règle de la Dotation Globale annuelle (DG), qui consiste à une attribution de crédits que chaque hôpital s'attache à ne pas dépasser, après négociation périodique selon l'activité des différents services. Ce mode de financement n'incitait pas à adopter une organisation qui optimiserait l'utilisation des ressources, la qualité des soins au patient étant considérée comme le principal objectif à atteindre, au détriment de l'efficacité. L'ensemble des médecins sont salariés en tant que praticiens hospitaliers.

Les établissements publics sont ceux qui accueillent le plus grand nombre d'interventions lourdes liées à leurs missions (chirurgie cardiaque, neurochirurgie ou greffe) et les cas les plus compliqués. Une des particularités du secteur public est qu'il a obligation d'accepter tous les patients demandeurs de soins se présentant. D'après l'enquête SAE 2000 Baubeau et Thomson (2002), les hôpitaux assurent en grande partie la prise en charge des séjours chirurgicaux des enfants de moins de 1 an et des personnes âgées de plus de 85 ans. Par ailleurs, les patients sévères sont plus nombreux dans les CHR et la durée moyenne des interventions y est deux fois plus longue que dans les cliniques privées. D'autre part, on trouve plus fréquemment dans les centres hospitaliers des services d'obstétrique (césariennes non programmées et surveillance longue), et des salles d'exploration (radiologie interventionnelle, endoscopie). La tendance va vers davantage d'obstétrique et d'urgence dans les centres hospitaliers (tout en gardant une part de chirurgie très importante), et davantage d'interventions longues dans les CHR.

Établissements privés à but lucratif

Le paysage hospitalier français se distingue des autres pays d'Europe par l'existence d'un secteur privé important en terme de nombre d'établissements mais peu présent en moyen et longs séjours. Gérés par des sociétés commerciales ou civiles, les établissements privés à but lucratif, appelés également cliniques privées, répondent aux obligations de service public, mais sont libres de choisir les activités qui leur semblent les plus rentables.

Dans les établissements privés, les médecins sont libéraux et ne sont pas salariés de l'établissement dans lequel ils exercent. Depuis plusieurs années les médecins et les cliniques sont payés à l'acte, en fonction de sa durée, de sa difficulté et des ressources nécessaires. Ce financement sur l'Objectif Quantifié National (OQN) recouvrant la prise en charge des frais d'hospitalisation, à l'exclusion des honoraires des praticiens libéraux, les cliniques étaient libres de fixer leurs prix et de choisir les activités les plus rentables. La mise en place progressive de la T2A va certainement continuer à inciter les cliniques à pratiquer des activités de soins sélectives, tant au niveau de la nature des actes que des patients pris en charge.

Le statut des établissements privés à caractère commercial introduit dans les cliniques des contraintes qui façonnent leurs organisations internes. Ceci explique les mutations précoces quant à l'organisation de leurs plateaux médico-techniques. En effet, le secteur privé à but lucratif est composé de nombreux établissements de petite taille qui pour la plupart suivent actuellement un mouvement de concentration qui aboutit à la création d'établissements de taille plus importante dotés de plateaux médico-techniques modernes, sophistiqués et plus productifs. Ce recentrage des moyens chirurgicaux sur un plus petit nombre de sites, vise également à l'amélioration de la sécurité sanitaire. D'autre part, on observe dans le secteur privé depuis 1992 Baubeau et Thomson (2002) une diminution du nombre de salles « non chirurgicales et non obstétricales » qui s'explique par la spécialisation chirurgicale des cliniques, au détriment des activités obstétricales et exploratoires. Le développement de l'anesthésie et de la chirurgie ambulatoire et la création de blocs affectés à cette activité pour satisfaire les recommandations professionnelles puis réglementaires, se sont traduits par une hausse du nombre de salles d'opération dans les cliniques. L'activité s'est développée autour des soins de courte durée et d'ambulatoire, laissant les cas les plus compliqués et les plus longs à traiter aux CHR.

Établissements privés à but non lucratif

Les établissements privés à but non lucratifs, appelés aussi hôpitaux privés sont gérés par des organismes de sécurité sociale, des mutuelles, des fondations ou des associations. On distingue dans cette catégorie les participants au service public hospitalier (PSPH) qui représentent 10,4% de l'ensemble des lits hospitaliers (les non PSPH en représente 5 %). Ils répondent aux mêmes obligations que les établissements publics, et connaissent les mêmes règles de financement et de fonctionnement. La différence se situe au niveau du statut des personnels, notamment médicaux qui relèvent du régime salarial et de conventions collectives. Les mutations subies par les centres hospitaliers dans le public se retrouve dans cette catégorie d'établissements. D'autre part, la charge de travail anesthésique s'est en partie déplacée (pour le privé sous DG et le public) des blocs opératoires vers d'autres lieux d'intervention, en particulier, l'imagerie, l'obstétrique et les explorations ;

Structures composées

L'un des aspects essentiels de la réforme du système de santé est l'adaptation de l'offre hospitalière. Des structures jusqu'alors indépendantes sont aujourd'hui amenées à se regrouper, dans l'objectif : d'atteindre une masse critique d'activités d'un plateau technique (seuil de rentabilité), d'optimiser les moyens humains et matériels, de renforcer et d'optimiser le dispositif sanitaire de la zone, de permettre des complémentarités, de partager des activités, d'améliorer la qualité de la prise en charge par une meilleure répartition des activités. Les raisons, relevées par une enquête [Ministère de la santé, 2004], ayant poussé à un regroupement sont : une amélioration de la qualité et de la sécurité, l'organisation de soins de proximité (acquisition d'un équipement lourd), la création d'une structure de soins de suite afin de désengorger des services de médecine et de chirurgie, le maintien de l'offre de soins, le transfert d'activités au secteur public, la fermeture inopinée d'un établissement privé.

Les formes prises par un regroupement sont fonction de la nature juridique des établissements. Elles peuvent donner lieu à : une fusion juridique entre plusieurs établissements privés, le rachat d'un établissement privé par un autre, un regroupement privé-public (Fédération médicale inter-hospitalière, Groupement de coopération sanitaire), un regroupement public-privé à but non lucratif (Syndicat inter-hospitalier). Les regroupements peuvent être mono-site ou multi-sites, porter sur une partie ou la totalité des activités médicales et/ou chirurgicales, respecter ou modifier les natures juridiques des établissements membres. Les différentes désignations des formes juridiques sont les suivantes :

- Fédération médicale inter-hospitalière : structure juridique permettant à plusieurs centres hospitaliers de regrouper certains de leurs services ou départements.
- Convention de coopération : permet de poursuivre une action limitée dans le temps et dans l'espace entre des établissements de santé publics ou privés.
- Groupement de coopération sanitaire : permet aux établissements membres (publics ou privés) des interventions communes, des gestions d'équipements d'intérêt commun. Le groupement est une personne morale poursuivant un but non lucratif.
- Syndicat inter-hospitalier : c'est un établissement public dont les membres sont des établissements publics (1 au minimum) ou privés à but non lucratifs. L'objectif est : des services communs, la formation du personnel, le partage d'équipements, la mise en place de nouvelles installations.

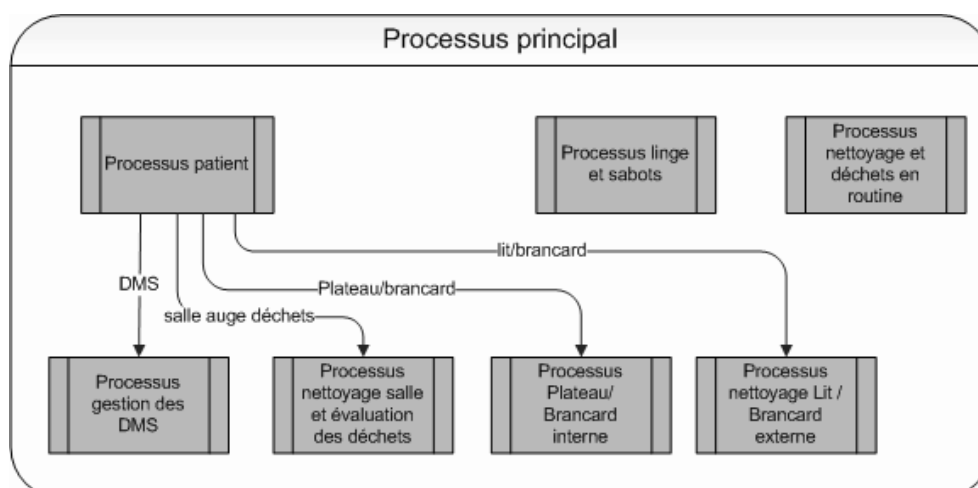
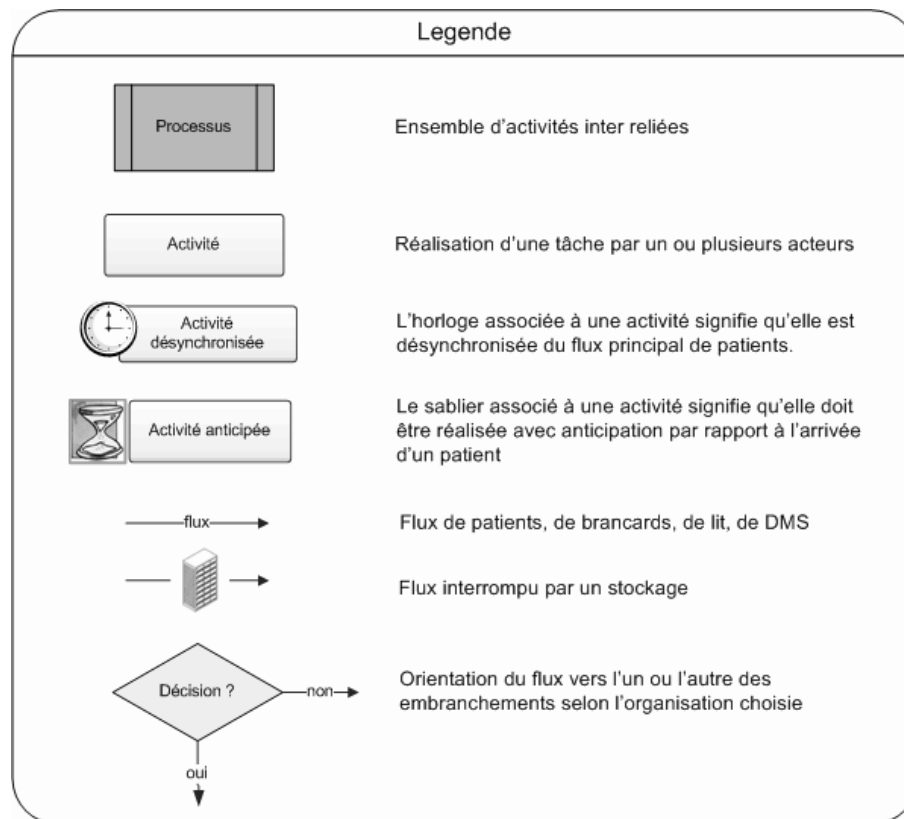
Annexe C

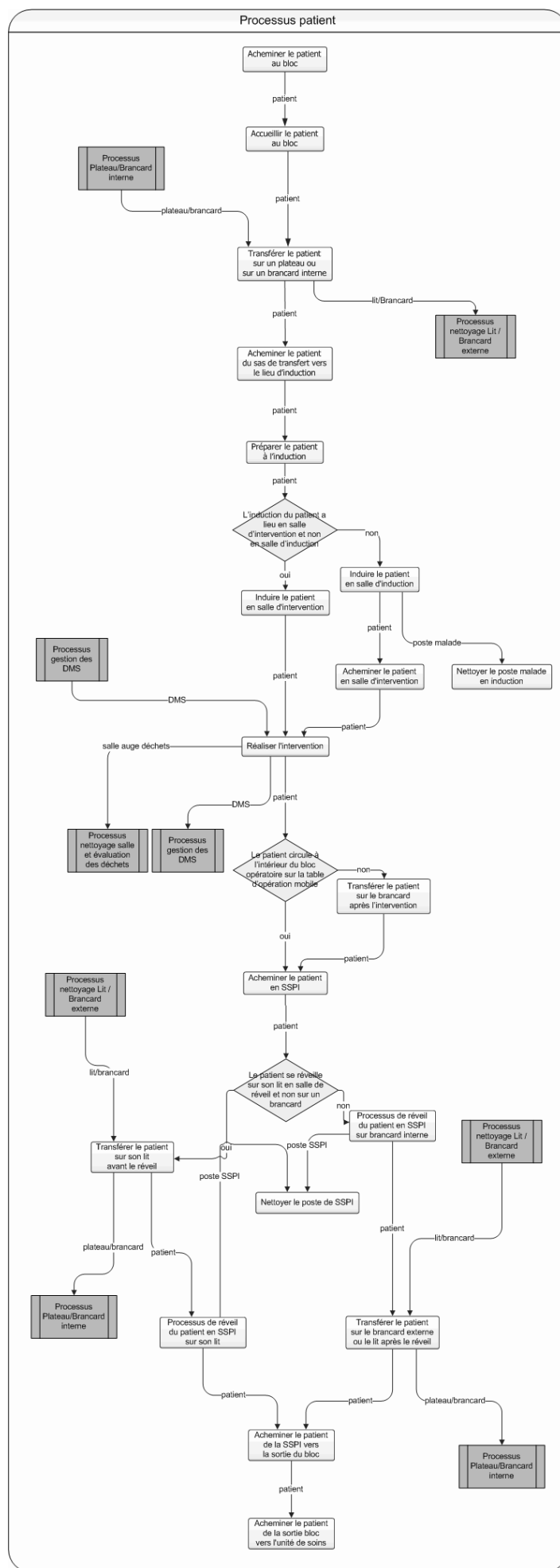
Modèle de processus générique du démonstrateur

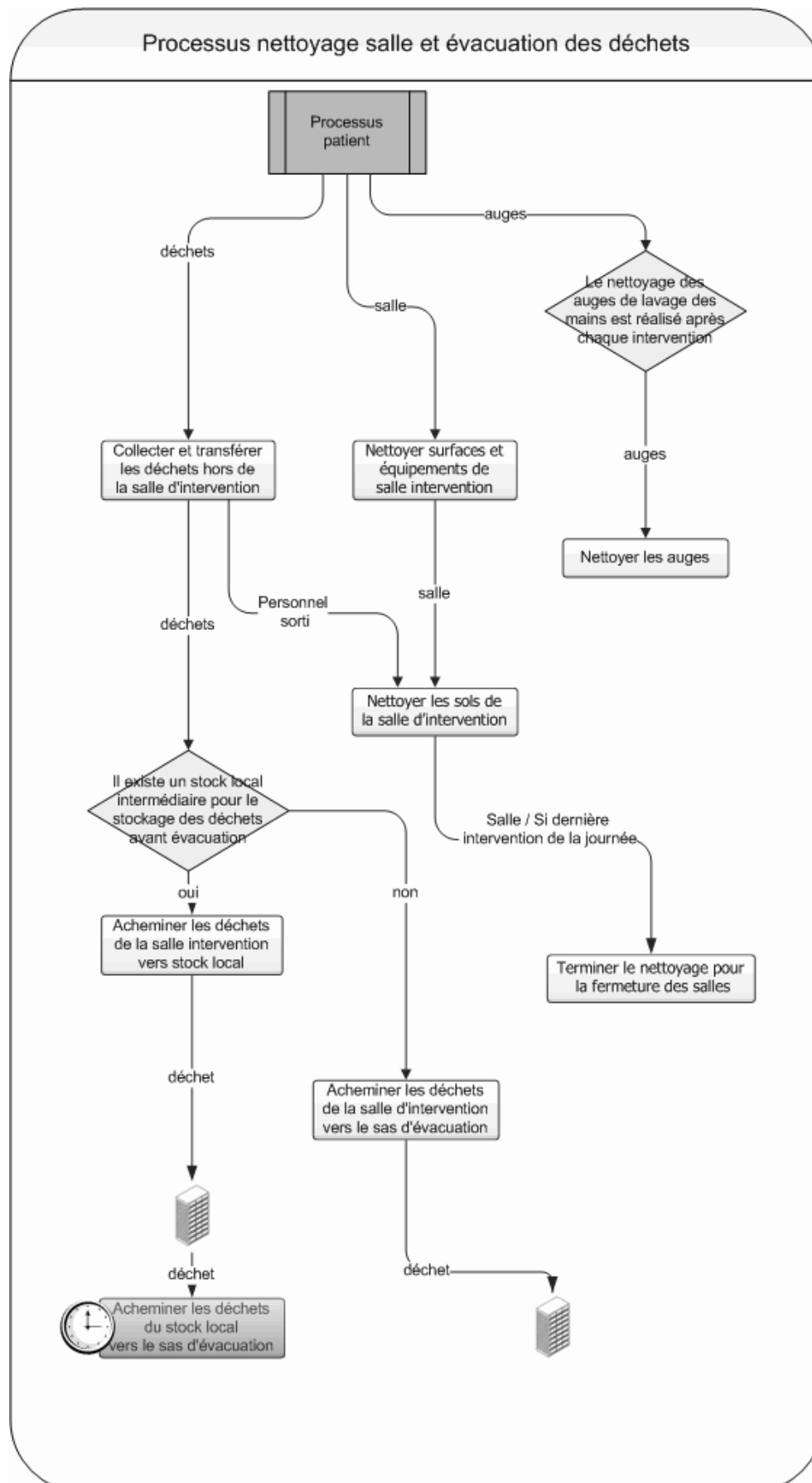
Dans cette annexe nous présentons le modèle de processus générique utilisé dans le démonstrateur pour la phase de spécification des processus et de l'organisation du PMT.

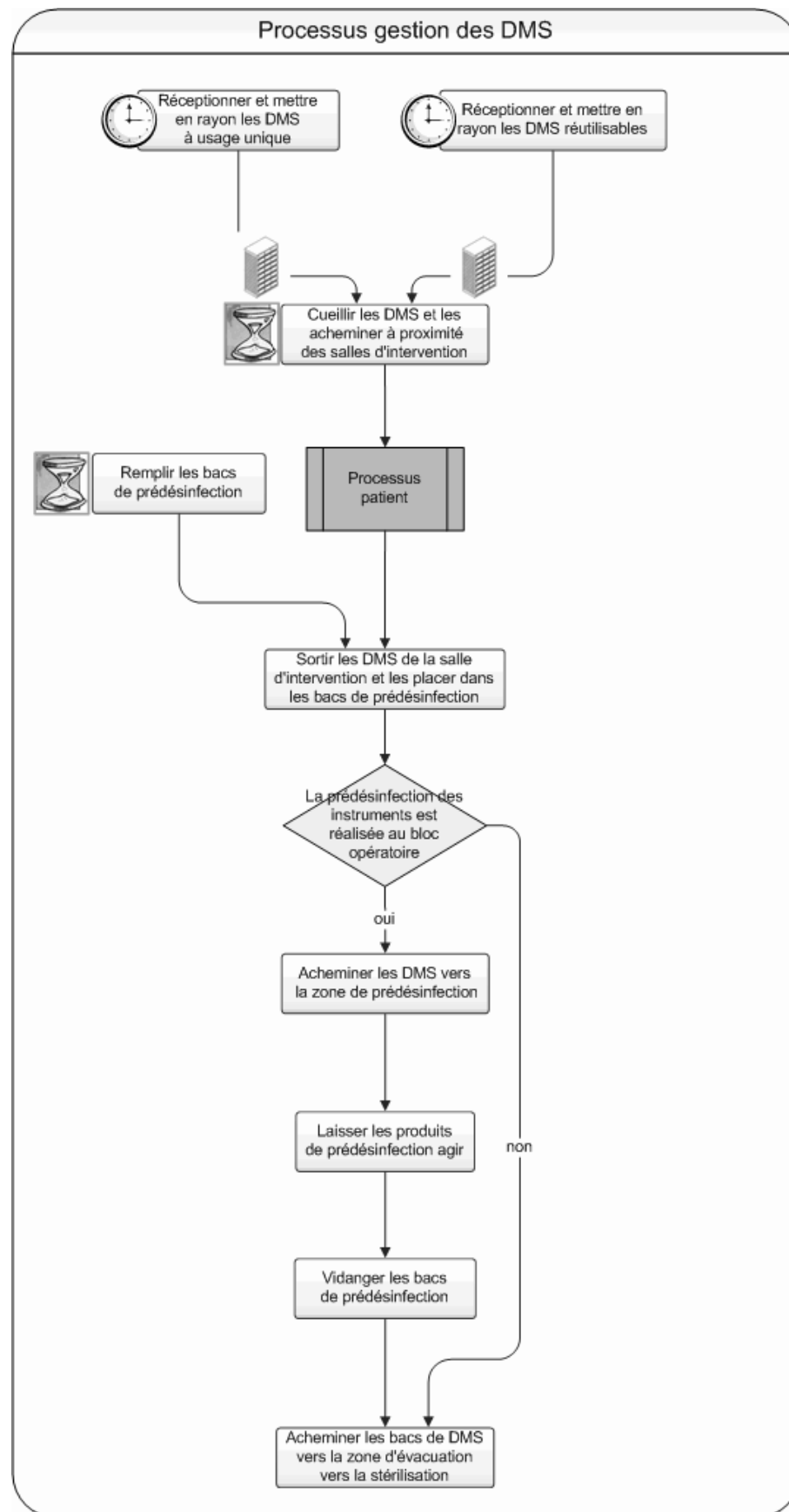
Une fois les processus établis, il s'agit de définir l'organisation ressources associées à chaque activité ainsi que les temps nécessaires à leur réalisation. Les processus ainsi quantifiés sont transformé en modèle de simulation sous ARENA, permettant de simuler le fonctionnement du bloc opératoire spécifié par l'utilisateur.

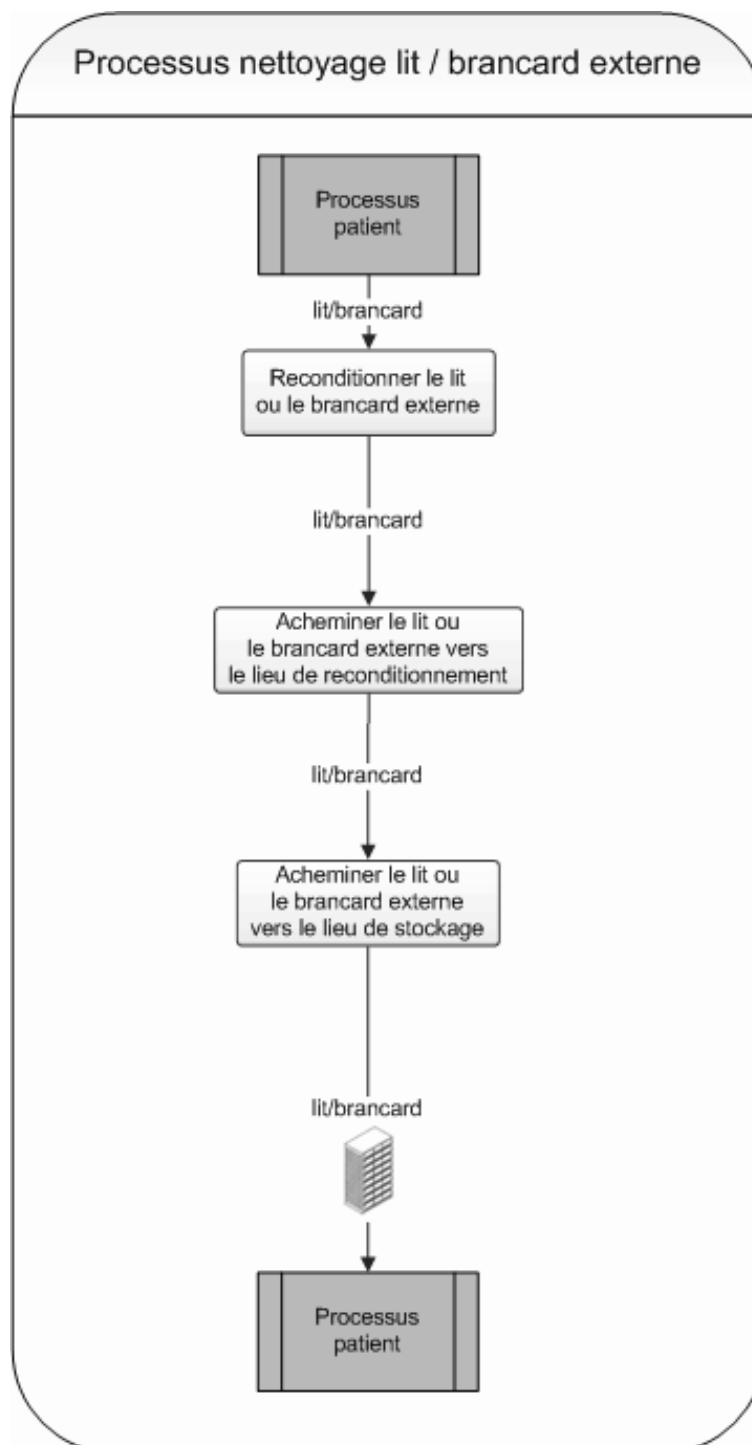
Afin de permettre une lecture aisée des diagrammes, nous précisons ci-dessous la signification de chaque type d'objet employé.

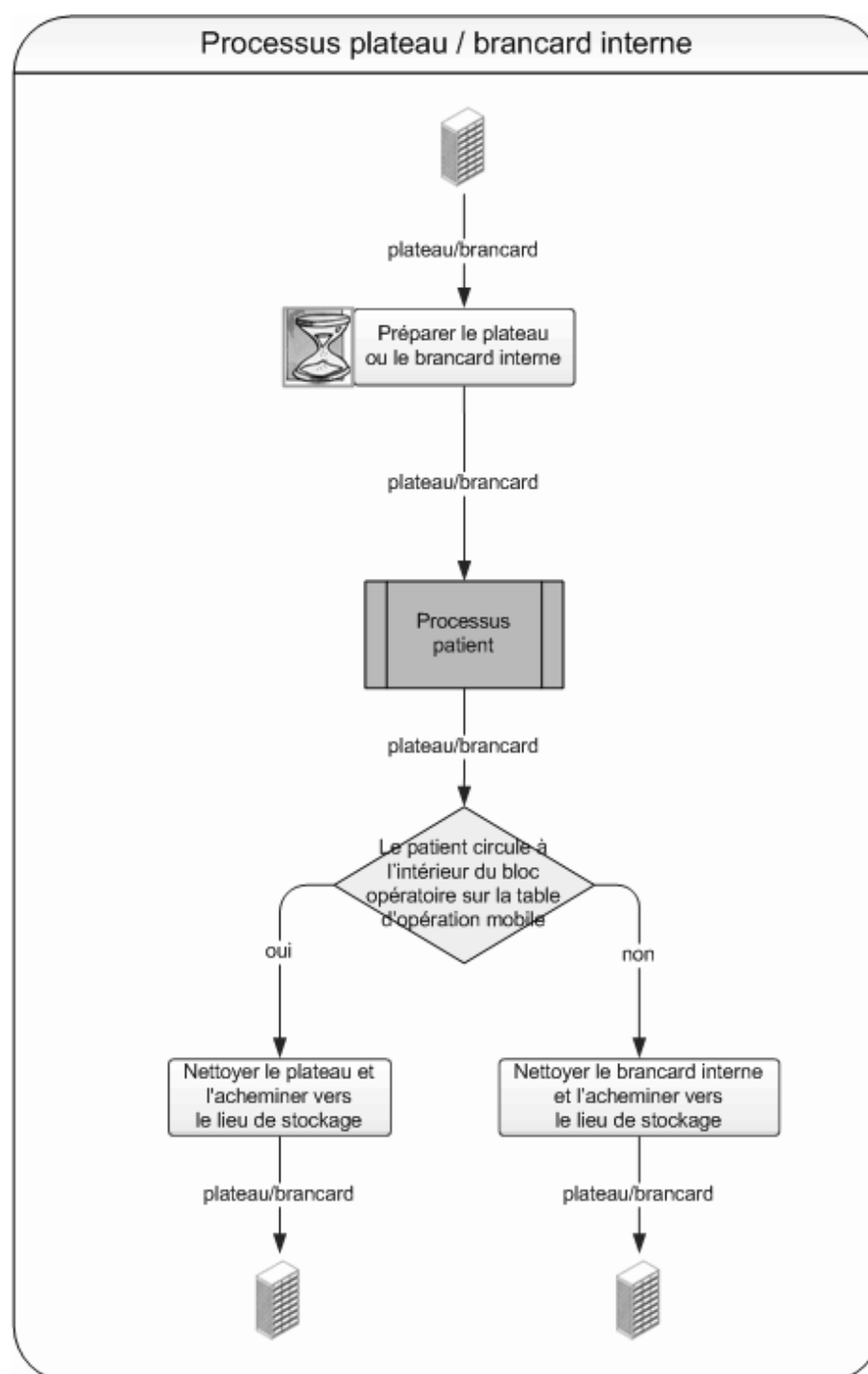


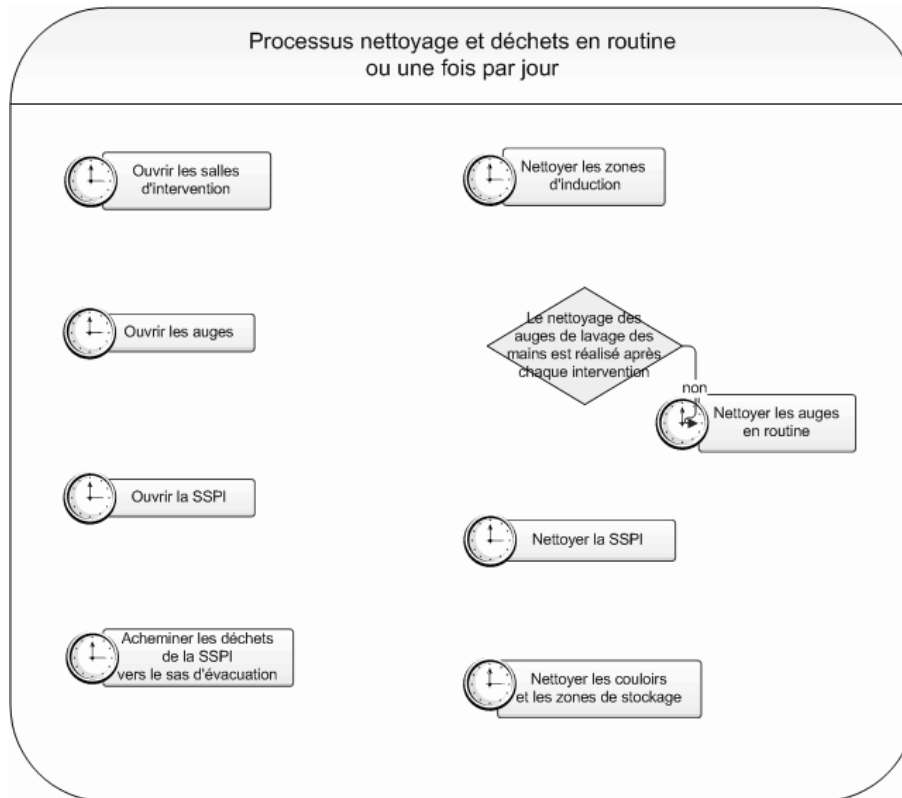












Processus linge et sabots



Réceptionner et installer
le linge du personnel
dans les vestiaires



Évacuer le linge du
personnel des vestiaires



Acheminer les sabots
de la zone de réception
du bloc vers les vestiaires



Acheminer les sabots
des vestiaires vers
la zone d'évacuation
vers la stérilisation

Annexe D

Dimensionnement du personnel

La résolution du problème de construction des vacances pour chaque jour de la semaine nous permet de déterminer l'effectif minimum nécessaire. Cette phase de dimensionnement assure le lien entre la construction des vacances et celle du planning (Partouche, 1998). Ce calcul dépend de la composition que l'on prévoit pour l'effectif qui présente : (1) un mixage entre de personnels à temps complet et à temps partiel ou (2) un effectif composé uniquement de personnels à temps complet.

1. Dans le premier cas (mixage entre personnels à temps complet et temps partiel), il s'agit uniquement de déterminer l'effectif Équivalent Temps Plein (ETP). En effet, contrairement à Bard (2004) nous n'avons pas intégré dans le modèle de construction des vacances de différenciation entre les personnels à temps complet et personnels à temps partiel. Notre ambition n'est pas de jouer sur la composition de l'effectif (nombre de temps complet, nombre de temps partiel) car nous nous sommes rendus compte que peu de marge de manœuvre existe dans le milieu hospitalier. Dans le contexte actuel de pénurie de personnel soignant, les souhaits de ce type changement de régime (passage de temps complet à temps partiel, et inversement) sont rarement refusés, et les décisions ne sont pas uniquement basées sur des critères économiques. Ainsi nous n'abordons pas la question de la répartition entre les temps partiel et les temps complet, qui néanmoins offre au décideur la possibilité de répondre à des variations de demande sur les différents jours de la semaine en jouant sur l'affectation des personnels à temps partiel. L'effectif ETP W , c'est-à-dire le nombre de salariés nécessaires pour effectuer les vacances construites, est calculé à l'aide la formulation suivante :

$$W = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^7 \sum_{j=1}^H a_{ij} X_{id}}{D} \quad (7.14)$$

où N représente le nombre de vacances possibles dans la semaine, H le nombre de périodes de la journée, a_{ij} est la matrice de couverture des périodes par les vacances, et X_{id} est le nombre de salariés affectés à la vacation i le jour d (d allant de 1 à 7, pour les 7 jours de la semaine). Enfin D correspond à la durée de travail hebdomadaire pour les personnels à temps complet.

2. Dans le second cas, la charge doit être couverte par des temps complet uniquement. Le nombre de salariés ne peut être inférieur au nombre de vacances de chaque jour ni à l'effectif ETP calculé par la formule 7.14. Nous reprenons ici la formule donnée par (Partouche, 1998) pour calculer le nombre de salariés nécessaires :

$$W = \max \left(\left\lceil \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^7 \sum_{j=1}^H a_{ij} X_{id}}{D} \right\rceil, \max_{d=1 \dots 7} \left(\sum_{i=1}^N X_{id} \right) \right) \quad (7.15)$$

où $\lceil \cdot \rceil$ désigne la partie entière supérieure.

Bibliographie

- ABDENNADHER, S. et SCHLENKER, H. (1999). Nurse scheduling using constraint logic programming. *In Innovative Applications of Artificial Intelligence AAAI/IAAI-99*, pages 838–843, Orlando, Florida.
- ACQUIER, R., BIROT, P., BOILON, M., CLOUARD, M., MARINO, C., PARVY, C. et TASSEL, C. (2003). *Maîtriser l'organisation en bloc opératoire : un défi permanent - Guide d'auto-évaluation*. Edition Eska. Paris. 99 p.
- AFGI (1992). *Evaluer pour évoluer, les indicateurs de performance au service du pilotage industriel*. Association Française de Gestion Industrielle. Paris.
- AICKELIN, U. et DOWSLAND, K. A. (2000). Exploiting problem structure in a genetic algorithm approach to a nurse rostering problem. *Journal of Scheduling*, 3:139–153.
- AICKELIN, U. et DOWSLAND, K. A. (2004). An indirect genetic algorithm for a nurse scheduling problem. *Computers and Operations Research*, 31:761–778.
- ALBERT, F., BESOMBES, B. et MARCON, E. (2006). Mutualisation des équipes de personnels de nettoyage dans un bloc opératoire. *In GISEH 2006*, Luxembourg.
- ALBERT, F. et MARCON, E. (2005). Computer-aided decision support tool applied in radiology department reengineering. *In International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, Marrakech.
- ALBERT, P., MARCON, E. et SIMMONET, G. (2003). Etude exploratoire sur le risque opératoire lors de la mutualisation des médecins anesthésistes réanimateurs. *In GISEH 2003*, pages 502–510, Lyon, France.
- ALEKSY, B., CHABROL, M., CHAUVET, J. et FENIES, P. (2006). Le projet de modélisation et de simulation de flux du nouvel hôpital Estaing : aide à la décision versus management du changement. *In MOSIM 2006*, volume 2, pages 1457–1466, Rabat.
- ALFARES, H. (2004). Survey, categorization and comparison of recent tour scheduling literature. *Annals of Operations Research*, 127:145–175.
- ANAES (1998). La chirurgie ambulatoire. Rapport de l'agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé. [http://www.has-sante.fr/anaes/Publications.nsf/nPDFFile/SY_ASSI-57JEB2/\\$File/chiramb.pdf?OpenElement](http://www.has-sante.fr/anaes/Publications.nsf/nPDFFile/SY_ASSI-57JEB2/$File/chiramb.pdf?OpenElement) dernière consultation le 19/10/2006.
- ARTHUR, J. et RAVINDRAN, A. (1981). A multiple objective nurse scheduling model. *AIIE Transactions*, 13(1):55–60.

- ARTIBA, A., BRIQUET, M., COLIN, J., DONTAINTÉ, A., GOURC, D., POURCEL, G. et STOCK, R. (2003). Modélisation d'établissement de santé. In *GISEH 2003*, pages 251–262, Lyon, France.
- AYKIN, T. (1996). Optimal shift scheduling with multiple break windows. *Management Science*, 42:591–602.
- AYKIN, T. (2001). A comparative evaluation of modeling approaches to the labor shift scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 125(2):381–397.
- AZAIEZ, M. et SHARIF, S. A. (2005). A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. *Computers and Operations Research*, 32:491–507.
- BAKER, K. (1976). Workforce allocation in cyclical scheduling problems : a survey. *Operations Research Quarterly*, 27:155–167.
- BALSAN, D. (2004). Une typologie des établissements de soins publics et PSPH de court séjour selon leur activité et leur environnement. *Etudes et Résultats, DREES*, 325. Paris.
- BARD, J. F. (2004). Selecting the appropriate input data set when configuring a permanent workforce. *Computers and Industrial Engineering*, 47:371–389.
- BAUBEAU, D. et THOMSON, E. (2002). Les plateaux techniques liés aux interventions sous anesthésie entre 1992 et 2000. *Etudes et Résultats, DREES*, 189. Paris.
- BEAUDRAP, S. (2003). *Accompagner la réforme de la tarification par le développement d'outils de gestion de la performance*. Mémoire, Ecole Nationale de la Santé Publique, Rennes.
- BEAULIEU, H., FERLAND, J., GENDRON, B. et MICHELON, P. (2000). A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room. *Health Care Management Science*, 3:193–200.
- BECHAR, S. et GUINET, A. (2006). Planification des lits d'un établissement de soins. In *GISEH 2006*, Luxembourg.
- BECHTOLD, S. et JACOBS, L. (1991). Improvement of labour utilisation in shift scheduling for services with implicit optimal modeling. *International Journal of Operation Production Management*, 11:54–69.
- BECHTOLD, S. et JACOBS, L. W. (1990). Implicit modeling of flexible break assignments in optimal shift scheduling. *Management Science*, 36(11):1339–1351.
- BELDICEANU, N., SIMONIS, H., KAY, P. et CHAN, P. (1997). The CHIP system. Co-sytec. http://www.cosytec.fr/ordonnancement_de_production/chip/pdf/the_chip_system.pdf dernière consultation le 19/10/2006.
- BERLAND, Y. (2002). Mission démographie des professions de santé. Rapport technique. <http://www.csmf.org/actualites/biblio/berland.pdf> dernière consultation le 19/10/2006.
- BERRADA, I., FERLAND, J. A. et MICHELON, P. (1996). A multi-objective approach to nurse scheduling with both hard and soft constraints. *Socio-Economic Planning Sciences*, 30:183–193.
- BERRAH, L. (2002). *L'indicateur de performance : Concepts et Applications*. Cépaduès Editions. Toulouse.

- BESOMBES, B., MARCON, E., ALBERT, F., MERCHIER, L. et BERNAUD, M. (2006). Quels indicateurs de performance pour piloter le regroupement de plateaux médico-techniques ? Retour d'expérience au CHU de St Etienne. In *GISEH 2006*, Luxembourg.
- BESOMBES, B., TRILLING, L. et 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):691–723.
- BLAKE, J. (2002). Mount Sinai Hospital uses integer programming to allocate operating room time. *Interfaces*, 32(2):63–73.
- BLANC, S. et DUCQ, Y. (2005). Implementation of a performance measurement system for the maintenance using ECOGRAI and PbView software tool. In *4th International Workshop on Performance Measurement, Implementation of Performance Measurement Systems for Supply Chains*, Bordeaux, France.
- BLÖCHLIGER, I. (2004). Modeling staff scheduling problem : A tutorial. *European Journal of Operational Research*, 158:533–542.
- BONTEMPS, G. (2003). Conditions de développement de la chirurgie ambulatoire. Programme national interrégime assurance maladie. <http://www.ameli.fr/pdf/1047.pdf> dernière consultation le 19/10/2006.
- BOUNEKKAR, A., BREMOND, M., KABACHI, N., LAMURE, M. et ROBERT, D. (2004). Analyse des trajectoires patients au sein d'un établissement hospitalier. In *GISEH 2004*, pages 117–123, Mons, Belgique.
- BOUNEKKAR, A., DESLANDRES, V., MAGNY, D. L. et TRILLING, L. (2006). Etude des facteurs influençant le taux d'occupation des salles dans le contexte du regroupement de plateaux médico-techniques. In *GISEH 2006*, Luxembourg.
- BROUN, G. (2002). *Le plateau technique médical à l'hôpital*. Edition Eska. Paris. 621 p.
- BRUSCO, M. J. et JACOBS, L. W. (1995). Cost analysis of alternative formulations for personnel scheduling in continuously operating organisations. *European Journal of Operational Research*, 86:249–261.
- BUFFA, E., COSGROVE, M. et LUCE, B. (1976). An integrated work shift scheduling system. *Decision Sciences*, 7:620–630.
- BURKE, E., CAUSMAECKER, P. D., BERGHE, G. V. et LANDEGHEM, H. V. (2004). The state of the art of nurse rostering. *Journal of scheduling*, 7(6):441–499.
- BURKE, E. K., CAUSMAECKER, P. D. et BERGHE, G. V. (1999). A hybrid tabu search algorithm for the nurse rostering problem. In *SEAL'98*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pages 187–194. 1585. http://www.asap.cs.nott.ac.uk/publications/pdf/greet_SEAL98.pdf dernière consultation le 19/10/2006.
- BURKE, E. K., COWLING, P., CAUSMAECKER, P. D. et BERGHE, G. V. (2001). A memetic approach to the nurse rostering problem. *Applied Intelligence*, 15(3):199–214.
- CARTER, M. et LAPIERRE, S. (2001). Scheduling emergency room physicians. *Health Care Management Science*, 4:347–360.
- CENTENO, M. A. et ISMAIL, A. M. (2003). A Simulation-ILP based tool for scheduling ER staff. In *2003 Winter Simulation Conference*, pages 1930–1938, New Orléans, LA.

- CHAABANE, S. (2004). *Gestion prédictive des blocs opératoires*. Thèse de doctorat, INSA de Lyon.
- CHAABANE, S., BOUVET, S., GUINET, A. et VIALE, J. P. (2004a). Impact de la structure juridique des établissements de santé sur l'organisation des blocs opératoires. *Santé et systémique*, Numéro Spécial.
- CHAABANE, S., GUINET, A. et TRILLING, L. (2004b). Pilotage conjoint de ressources hospitalières humaines et matérielles : un problème d'ordonnancement avec cycles. *In GISEH 2004*, pages 14–23, Mons, Belgique.
- CHAN, P. (2002). *La planification du personnel : acteurs, actions et termes multiples pour une planification opérationnelle des personnes*. Thèse de doctorat, Université Josphe Fourier de Grenoble.
- CHAN, P., HEUS, K. et WEIL, G. (1998). Nurse scheduling with global constraints in CHIP : GYMNSASTE. *In Fourth International Conference on Pratical Applications of Constraint Technology PACT'98*, pages 157–169, London.
- CHARNES, A. et COOPER, W. (1977). Goal programming and multiple objective optimizations. *European Journal of Operational Research*, 1:39–45.
- CHEANG, B., LI, H., LIM, A. et RODRIGUES, B. (2003). Nurse rostering problems - a bibliographic survey. *European Journal of Operational Research*, 151(3):447–460.
- CLAVERANNE, J. et PASCAL, C. (2004). *Repenser les processus à l'hôpital : Une méthode au service de la performance*. Médica Editions. Paris. 262 p.
- CLÉMENT, J. M. (2004). *Réflexions pour l'hôpital - Proximité coopération pouvoir*. Les Etudes hospitalières. Bordeaux. 137 p.
- COMBES, C., DUSSAUCHOY, A., CHAABANE, S., SMOLSKI, N., VIALE, J. et SOUQUET, J. (2004). Démarche méthodologique d'analyse des données pour la planification des blocs opératoires : une application à un service d'endoscopie digestive. *In GISEH 2004*, pages 124–133, Mons, Belgique.
- COMMISSION LOGISTIQUE HOSPITALIÈRE (2000). *Enquête sur la logistique hospitalière*. AS-LOG. Paris.
- DANTZIG, G. B. (1954). A comment on EDIE's 'Traffic delays at toll booths'. *Operations Research*, 2:339–341.
- DEXTER, F. (2004). Review of operational decision making before the day of surgery based on operating room efficiency. *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RS-JESA)*, 38(6):603–630.
- DEXTER, F., MACARIO, A. et TRAUB, R. (1999a). Which algorithm for scheduling add-on elective cases maximizes operating room utilization? use of bin packing and fuzzy constraints in operating room management. *Anesthesiology*, 91(5):1491–1500.
- DEXTER, F., MARCARIO, A., QIAN, F. et TRAUB, R. (1999b). Forecasting surgical groups total hours of elective cases for allocation of block time : application of time series analysis to operating room management. *Anesthesiology*, 91:1501–1508.
- DEXTER, F. et O'NEILL, L. (2001). Weekend operating room on-call staffing requirements. *Association of periOperative Registered Nurses Journal (AORN J)*, 74:666–671.

- DHOS (2003). Synthèse des travaux du groupe sur l'implantation et l'organisation des plateaux techniques. Rapport technique, Ministère de la santé. <http://www.fehap.fr/sanitaire/mco/plateauxtechniques.pdf> dernière consultation le 19/10/2006.
- DIONISI, D. (1993). *L'essentiel sur MERISE*. Editions Eyrolles. Paris.
- DOUMEINGT, G., VALLESPER, B. et CHEN (1995). Methodologies for designing CIM systems : a survey. *Computers in Industry*, 25:263–280.
- DOUMEINGT, G., VALLESPER, B. et CHEN, D. (1998). GRAI Grid Decisional Modelling. In VERLAG, S., éditeur : *International Handbook on Information Systems*, pages 313–337.
- DOWSLAND, K. A. (1998). Nurse scheduling with Tabu Search and strategic oscillation. *European Journal of Operational Research*, 106:393–407.
- DRAEGER, M. (1992). An emergency department simulation model used to evaluate alternative nurse staffing and patient population scenarios. In *1992 Winter Simulation Conference IEEE*, pages 1057–1064, Arlington, VA.
- DREZET, L. E. (2005). *Résolution d'un problème de gestion de projets sous contraintes de ressources humaines : de l'approche prédictive à l'approche réactive*. Thèse de doctorat, Université de Tours.
- DREZET, L. E. et TACQUART, C. (2004). Adaptation réactive de plannings. In *GISEH 2004*, pages 31–39, Mons, Belgique.
- DUBOIS-LEPAND, S. (2001). *La chirurgie ambulatoire au centre hospitalier de Coulommiers : une opportunité à saisir pour l'hôpital public ?* Mémoire, Ecole Nationale de la Santé Publique, Rennes. 87 p.
- DUCQ, Y., DESCHAMPS, J. et VALLESPER, B. (2005). Re-engineering d'un système hospitalier par l'utilisation de la méthodologie GRAI. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 39(5-6):605–636.
- DUSSAUCHOY, A. et COMBES, C. (2003). Loi bidimensionnelle des durées de différentes activités liées aux interventions chirurgicales. In *25èmes Journées de Statistique*, pages 439–442, Lyon.
- DUSSAUCHOY, A., COMBES, C., GOUIN, F. et BOTTI, G. (2003). Simulation de l'activité d'un bloc opératoire en utilisant des données recueillies au niveau d'un département d'anesthésie. In *GISEH 2003*, Lyon, France.
- ERNST, A., JIANG, H., KRISHNAMOORTHY, M. et SIER, D. (2004a). Staff scheduling and rostering : A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 153(1):3–27.
- ERNST, A. T., JIANG, H., KRISHNAMOORTHY, M., OWENS, B. et SIER, D. (2004b). An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering. *Annals of Operations Research*, 127:21–144.
- EVANS, G., GOR, T. et UNGER, E. (1996). A simulation model for evaluating personnel schedules in a hospital emergency department. In *1996 Winter Simulation Conference IEEE*, pages 1205–1209, Coronado, California, USA.
- FHF (2004). La tarification à l'activité. <http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/t2a/accueil.htm> dernière consultation le 19/10/2006.

- FONTAN, G., DUROU, D. et MERCE, C. (2004). Analyse et modélisation du parcours du patient. *Logistique et Management, Numéro spécial Logistique hospitalière*, pages 111–118.
- GERAM (1999). Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology Version 1.6.3. *IFIP - IFAC Task Force*. <http://www.cit.gu.edu.au/~bernus/taskforce/geram/versions/geram1-6-3/GERAMv1.6.3.pdf> dernière consultation le 19/10/2006.
- GERVAIS, M. (2002). *Stratégie de l'Entreprise*. Editions Economica. Paris.
- GHC, A. (2003). Action Spécifique 63, Gestion Hospitalière Coopérante. Rapport final.
- GLOVER, F. et LAGUNA, M. (1997). *Tabu search*. Kluwer Academic Publishers, Boston. 382 p.
- GLPK (2005a). *GNU Linear Programming Kit : Reference Manual Version 4.8*. Draft Edition. <http://gnuwin32.sourceforge.net/packages/glpk.htm> dernière consultation le 19/10/2006.
- GLPK (2005b). *GNU Linear Programming Kit : Modeling Language GNU MathProg Version 4.8*. Draft Edition. <http://gnuwin32.sourceforge.net/packages/glpk.htm> dernière consultation le 19/10/2006.
- GUINET, A. (1995). Scheduling independent jobs on uniform parallel machines to minimize tardiness criteria. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 6:95–103.
- GUINET, A. et CHAABANE, S. (2003). Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics*, 85:69–81.
- HAMMAMI, S. (2006). *Aide à la décision dans le pilotage des flux matériels et patients d'un plateau médico-technique*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- HAMMAMI, S., JEBALI, A., ALOUANE, A. H. et LADET, P. (2003). Approche multi-objectifs pour l'introduction de l'urgence dans le programme opératoire. *In 5ème Congrès International de Génie Industriel*, Québec, Canada.
- HAS (2005). La certification : Supports pédagogiques à l'intention des établissements de santé. [www.anaes.fr/anaes/Publications.nsf/nZIPFile/AT_LFAL-6L4HU9/\\$File/20051205-HAS-V2.ppt](http://www.anaes.fr/anaes/Publications.nsf/nZIPFile/AT_LFAL-6L4HU9/$File/20051205-HAS-V2.ppt) dernière consultation le 19/10/2006.
- HASSAN, T. (2006). *Logistique hospitalière : organisation de la chaîne logistique pharmaceutique aval et optimisation des flux de consommables et des matériels à usage unique*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1.
- HENDERSON, W. et BERRY, W. (1976). Heuristic methods for telephone operator shift scheduling : an experimental analysis. *Management Science*, 22:1372–1380.
- HEUS, K. (1996). *Gestion des plannings infirmiers : Application des techniques de programmation par contraintes*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier de Grenoble.
- ILOG (1998). *ILOG Solver 4.4 Reference Manual*. Edition 4.4. Gentilly, France.
- ILOG (2001). *CPLEX 7.1 User's Manual*.
- ILOG (2005). *ILOG OPL Development Studio 4.1 Language Reference Manual*.
- ISKEN, M. et HANCOCK, W. (1991). A heuristic approach to nurse scheduling in hospital units with non-stationary, urgent demand, and a fixed staff size. *Journal of the Society for Health Systems*, pages 24–41.

- JACQUET-LAGRÈZE, E., MONTAUT, D. et PARTOUCHE, A. (1997). The shift scheduling problem : Different formulations and solution methods. *Cahier du Lamsade, Université Paris Dauphine*, (146).
- JACQUET-LAGRÈZE, E. et PARTOUCHE, A. (1996). A Hybrid method for a staff scheduling problem with CPLEX and ILOG Solver. In *Second ILOG International Users Meetings*, Paris, France.
- JAUMARD, B., SEMET, F. et VOVOR, T. (1998). A generalised linear programming model for nurse scheduling. *European Journal of Operational Research*, 107:1–18.
- JEBALI, A. (2004). *Vers un outils 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., LADET, P. et ALOUANE, A. H. (2003). Une méthode pour la planification des admissions dans les systèmes hospitaliers. In *MOSIM 2003*, Toulouse, France.
- KHARRAJA, S. (2003). *Outils d'aide à la planification et l'ordonnancement des plateaux médico-techniques*. Thèse de doctorat, Université Jean-Monnet de Saint-Etienne.
- KHARRAJA, S., CHAABANE, S. et MARCON, E. (2002). Evaluation de performances pour deux stratégies de programmation opératoire de bloc. In *Conférence Internationale Francophone d'Automatique CIFA 2002*, Nantes.
- KHARRAJA, S. et MARCON, E. (2003). Vers une construction automatique du plan directeur d'allocation des plages horaires. In *GISEH'03*, pages 56–61, Lyon, France.
- KIM, C. H., WESTON, R. H., HODGSIN, A. et LEE, K. (2003). The complementary use of IDEF and UML modelling approaches. *Computers in Industry*, 50:35–56.
- KIM, K. et KIM, Y. (1998). Process reverse engineering for BPR : A form-based approach. *Information and Management*, 33:187–200.
- KINER, J. et CLAVERANNE, J. (2000). Relire les systèmes de santé par les activités et les processus. *Revue Gestions Hospitalières*, 133:87–91.
- KOSANKE, K. et E.V, C. A. (1996). Comparison of modelling methodologies. In *DIISM'96*. <http://cimos.cnt.pl/Docs/cmm.htm> dernière consultation le 19/10/2006.
- KOSTREVA, M. et GENEVIER, P. (1989). Nurse preferences vs. circadian rythms in scheduling. *Nurse management*, 20(7):50–62.
- KOSTREVA, M. et JENNINGS, K. (1991). Nurse scheduling on a microcomputer. *Computers and Operations Research*, 18:731–739.
- KUHN, H. (1955). The hungarian method for the assignment problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 2:83–98.
- KUMAR, A. et KAPUR, R. (1989). Discrete simulation application-scheduling staff for the emergency room. In *1989 Winter Simulation Conference IEEE*, pages 1112–1120, Washington, DC.
- LABURTHE, F. (2000). Choco : Implémentation du noyau d'un système de contraintes. In *Journées Nationales sur la résolution de Problèmes NP-Complets (JNPC'00)*, Marseille, France.
- LABURTHE, F., JUSSIEN, N., ROCHART, G. et CAMBAZARD, H. (2004). Choco User guide. <http://choco.sourceforge.net/userguide.pdf> dernière consultation le 19/10/2006.

- LADET, P. et LEBRUN, J. (2005). Offre de soins sur Rhône-Alpes. Rapport de recherche, Projet HRP2 Hôpitaux Regroupement Partage Pilotage : Livrable D14.1. 34 p., <http://www.laspi.fr/hrp2/livrables-publies> dernière consultation le 19/10/2006.
- LANDRIGAN, C., ROTHCHILD, J. et CRONIN, J. (2004). Effect of reducing intern's work hours on serious medical errors in intensive care units. *New England Journal of Medicine*, 351:1838–1848.
- LANDRIGAN, C., ROTHCHILD, J. et CRONIN, J. (2005). Reducing intern's consecutive and weekly working hours significantly reduces medical errors made in intensive care units. *Evidence-Based Healthcare and Public Health*, 9:209–210.
- LAPIERRE, S. S. et RUIZ, A. B. (2003). L'approche chaîne d'approvisionnement pour organiser un service d'approvisionnement hospitalier. In *GISEH 2003*, Lyon, France.
- LE MOIGNE, J. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Edition Dunod. Paris.
- LINDO (2003). *LINGO 8.0 User's Manual*. Lindo System Inc.
- LORINO, P. (2003). *Méthodes et pratiques de la performance, le pilotage par les processus et les compétences*. Editions Organisation. Paris.
- MARCARIO, A., VITEZ, T., DUND, B. et McDONALD, T. (1995). Where are the cost in perioperative care ? analysis of hospital costs and charges for inpatient care. *Anesthesiology*, 83:1138–1144.
- MARCON, E. (2003). *Aide à la décision pour les systèmes hospitaliers : application à la réingénierie et au pilotage des plateaux médico-techniques*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Jean Monnet de Saint Etienne.
- MARCON, E. (2004). Dimensionnement des ressources des plateaux médico-techniques des établissements hospitaliers. *Journal Européen des Systèmes Automatisés RS-JESA, Logistique hospitalière*, 38(6):631–656.
- MARCON, E. et KHARRAJA, S. (2003). Modèles et stratégies de programmation opératoire. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 37:687–716.
- MARCON, E., KHARRAJA, S. et SIMMONET, G. (2001). Minimization of the risk of non-realization for the planning of surgical interventions into the operating theatre. In *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA'2001*, pages 675–680, Juan-les-pins, France.
- MARCON, E., KHARRAJA, S. et SIMMONET, G. (2003a). The operating theatre planning by the follow-up of the risk if no realization. *International Journal of Production Economics*, 85:83–90.
- MARCON, E., KHARRAJA, S., SMOLSKI, N. et LUQUET, B. (2003b). Determining the number of beds in the post-anesthesia care unit : a computer simulation flow approach. *Journal of the International Anesthesia research society, Anesthesia and Analgesia*, 96(1415-1423).
- MARTY, J. (2003). *Organisation - Qualité - Gestion du risque en Anesthésie Réanimation*. Masson Edition. Paris.
- MASSIP, S. (2001). *Analyse du développement de la chirurgie ambulatoire au CHU de Toulouse : de l'orientation stratégique aux modalités de mise en œuvre*. Mémoire, Ecole Nationale de la Santé Publique, Rennes.

- MAYER, R. J., MENZEL, C. P., PAINTER, M. K., DEWITTE, P. S., BLINN, T. et PERAKATH, B. (1995). Information integration for concurrent engineering (IICE), IDEF3 Process description capture method report. Rapport technique. http://www.ideal.com/pdf/Idef3_fn.pdf dernière consultation le 19/10/2006.
- MCGINNIS, J., CULVER, W. et DEANE, R. (1978). One- and two-phase heuristics for workforce scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, 2:7–15.
- MEAH (2005). Organisation du temps de travail des médecins : retours d'expériences. <http://www.meah.sante.gouv.fr/> dernière consultation le 19/10/2006.
- MINVIELLE, E. (1996). Gérer la singularité à grande échelle. *Revue française de gestion*, 109:114–124.
- MOISDON, J. et TONNEAU, D. (1999). *La démarche gestionnaire à l'hôpital*. Paris, seli arslan édition.
- MOONDRA, S. (1976). An LP model for work force scheduling for banks. *Journal of Bank Research*, 7(5):299–301.
- MORENO, L., AGUILAR, R., MARTIN, C., PINIEIRO, J., ESTEVEZ, J., SANCHEZ, J., SIGUT, J. et JIMENEZ, V. (1998). Patient-centered computer simulation in hospital management. *Journal of Network and Computer Applications*, 21:287–310.
- MORENO, L., AGUILAR, R., PINIEIRO, J., ESTEVEZ, J., J.F., S. et GONZALES, C. (2001). Using KADS methodology in a simulation assisted knowledge based system : application to hospital management. *Journal of Expert System with applications*, 20:235–249.
- MORRIS, J. et SHOWALTER, M. (1983). Simple approaches to shift, days-off and tour scheduling problems. *Management Science*, 29(8):942–950.
- MOZ, M. et PATO, M. V. (2004). Solving the problem of rostering nurse schedules with hard constraints : new multicommodity flow model. *Annals of Operations Research*, 128:179–197.
- MOZ, M. et PATO, M. V. (2007). A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem. *Computers and Operations Research*, 34:667–691.
- MUSLIU, N. (2001). *Intelligent search methods for workforce scheduling : new ideas and practical applications*. Thèse de doctorat, Technische Universität Wien.
- MUSLIU, N., SHAERF, A. et SLANY, W. (2004). Local search for shift design. *European Journal of Operational Research*, 153:51–64.
- NEUMAIER, A., SHCHERBINA, O., HUYER, W. et VINKO, T. (2005). A comparison of complete global optimization solvers. *Mathematical Programming*, 103:335–356. http://www.optimization-online.org/DB_FILE/2004/04/861.pdf dernière consultation le 19/10/2006.
- OZKARAHAN, I. et BAILEY, J. (1988). Goal programming model subsystem of a flexible nurse scheduling support system. *IIE Transactions*, 20(3):306–316.
- PARTOUCHE, A. (1998). *Planification d'horaires de travail : méthodologies, modélisation et résolution à l'aide de la programmation linéaire en nombres entiers et de la programmation par contraintes*. Thèse de doctorat, Université Paris-Dauphine.

- PETIT, M. et DOUMEINGTS, G. (2002). UEML - WP1- Report on the State of the Art in Enterprise Modelling. Rapport de recherche, Projet UEML : Unified Enterprise Modelling Language. http://athena.troux.com/AKMii/WebComputas/TeamBlob.aspx?TeamPage=/Team/Repository/Projects/Project_249/Upload/Attachments/239_30_122__UEMLD11.pdf dernière consultation le 19/10/2006.
- PETROVIC, S., BEDDOE, G. et BERGHE, G. V. (2003). Storing and adapting repair experiences in personnel rostering. In *Practice and Theory of Automated Timetabling, Fourth International Conference*, volume 2740, pages 185–186, Gent.
- 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.
- PICHEL, D., DONTAINE, A., IASSINOVSKI, S., ARTIBA, A. et FAGNART, C. (2003). ALIX : une méthode de modélisation des flux d'un système. In *GI 2003*, Montréal, Canada.
- PIGANEAU, K. (2004). Réguler la démographie médicale, gare au cycle infernal ! *Le Quotidien du Médecin*.
- PIQUEMAL, A. (2002). Mission nationale d'évaluation de la mise en place de la RTT dans les établissements de santé. <http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/rtt2/index.htm> dernière consultation le 19/10/2006.
- PORTER, M. (1986). *L'avantage concurrentiel*. Interéditions. Paris. 647 p.
- POURCEL, G. et GOURC, D. (2002). Modélisation d'entreprise : la méthode MECI. In *Ecole de printemps Modélisation d'entreprise d'Albi-Carmaux, 28-30 mai 2002*.
- POURCEL, G. et VILLAUME, N. (2003). Aide à la réingénierie d'entreprise : application aux activités des services de biochimie et d'hématologie. In *GISEH 2003*, pages 322–331, Lyon, France.
- RAKOTONDRAHAIVO, A. (2006). *Contribution de la modélisation à l'évaluation des performances des organisations de santé : Application au réseau régional de cancérologie Oncolor*. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine à Nancy.
- REYMONDON, F., PELLET, B. et MARCON, E. (2006). Methodology for designing medical device packages based on sterilisation costs. In *INCOM 2006*, volume 3, pages 701–706, Saint Etienne, France.
- ROMEYER, C., BOIREAUX, A., DUPRE, V., GEINDRE, C., MATRAY, N. et MEYZONNIER, C. (2004). Modélisation par les processus : une méthode préalable indispensable à la mise en œuvre d'un système d'information communicant centré sur le patient. In *GISEH 2004*, Mons, Belgique.
- ROSSETTI, M., TRZCINSKI, G. F. et SYVERUD, S. (1999). Emergency department simulation and determination of optimal attending physician staffing schedules. In *1999 Winter Simulation Conference*, pages 1532–1540.
- SAMPIERIE, N. et BONGIOVANNI, I. (2000). Enjeux et perspectives des pratiques logistiques : pour une amélioration globale de la performance - le cas de l'hôpital français. In *3ème Rencontre Internationale de la recherche en logistique RIRL 2000*, Trois Rivières, Canada.
- SCC (2003). *Supply-Chain Operation Reference Model (SCOR), version 6.1*. Supply Chain Council.

- SCOTT, S. (2001). Supply Chain Operations Reference Model version 5.0 : A new tool to improve supply chain efficiency and achieve best practice. *Information Systems Frontiers*, 3-4:471–476.
- SCOTT, S. et SIMPSON, R. (1998). Case-based incorporating scheduling constraint dimensions : Experiences in nurse rostering. In *EWCBR'98, Lecture Notes in Computer Science*, volume 1488, pages 392–401, Dublin, Ireland.
- SFAR (2002). Commentaires sur le décret ministériel n° 2002-194 du 11/02/02 relatif aux actes professionnels et à la profession d'infirmier. http://www.sfar.org/s/article.php3?id_article=53 dernière consultation le 19/10/2006.
- SHEER, A. I. (2001). *ARIS 6 Collaborative Suite : Méthode ARIS, version 6*.
- SHUNK, D., KIM, J. et NAM, H. (2003). The application of an integrated enterprise modeling methodology FIDO to supply chain integration modeling. *Computers and Industrial Engineering*, 1:1–27.
- SMITH, B. M., BRAILSFORD, S., HUBBARD, P. M. et WILLIAMS, H. P. (1995). The progressive party problem : Integer linear programming and constraint programming compared. In *Ilog Solver and Ilog Schedule : first international users' conference*, Abbaye des Vaux de Cernay, France.
- SMOLSKI, N., MARCON, E., CHAABANE, S., LUQUET, B. et 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*, Lyon, France.
- SOUBIÉ, R., PORTOS, J. L. et PRIEUR, C. (1994). *Livre blanc sur le système de santé et d'assurance maladie : rapport au Premier ministre*. La Documentation Française. Paris. 549 p.
- STACCINI, P., JOUBERT, M., QUARANTA, J., FIESCHI, D. et FIESCHI, M. (2001). Modeling health care processes for eliciting user requirements : a way to link quality paradigm and clinical information system design. *International Journal of Medical Informatics*, 64:129–142.
- STANDBRIDGE, C. R. (1999). A tutorial on simulation in health care : Applications and issues. In *1999 Winter Simulation Conference*, pages 49–52, Phoenix, Arizona.
- STODD, K., ORTIZ, A. et TENZER, I. (1998). Operating room benchmarking : The Kaiser Permanente Experience. *The Permanente Journal*, 2(4):5–16. <http://xnet.kp.org/permanentejournal/fall198pj/operating.pdf> dernière consultation le 19/10/2006.
- STRUM, D., MAY, J., SAMPSON, A., VARGAS, L. et SPANGLER, W. (2003). Estimating times of surgeries with two component procedures : comparison of the lognormal and normal models. *Anesthesiology*, 98:232–240.
- TEIL, A. (2000). Coûts d'une minute de bloc opératoire et coûts d'un service d'anesthésie : quelles utilisations ? In *colloque SNPHAR*, pages 165–181, Djerba, Tunisie.
- THIERRY, C. (2003). *Gestion de chaînes logistiques, Modèles et mise en œuvre pour l'aide à la décision à moyen terme*. Thèse de doctorat, Université Toulouse II Montmirail.
- THOMPSON, G. M. (1993). Representing employee requirements in labour tour scheduling. *Omega*, 21(6):657–671.

- THOMPSON, G. M. (1995). Labour scheduling using NPV estimates of the marginal benefit of additional labour capacity. *Journal of Operations Management*, 13:67–86.
- TIEN, J. et KAMIYAMA, A. (1982). On manpower scheduling algorithms. *SIAM Review*, 24:275–287.
- TRILLING, G. (1997). *Génération automatique d'horaires de médecins de garde pour l'Hôpital Côte-des-Neiges de Montréal*. Mémoire de maîtrise d'informatique et mathématiques appliqués, Université Joseph Fourier Grenoble et Université de Montréal (CRT).
- TRILLING, L. (2003). *Investigation et comparaison des méthodes et outils d'analyse pour l'étude des chaînes logistiques*. D.E.A. informatique et systèmes coopératifs pour l'entreprise, laboratoire PRISMa, INSA de Lyon.
- TRILLING, L. (2004). Modèle du système opérant et du système de décision d'un bloc opératoire regroupé : le cas du centre hospitalier Saint Joseph et Saint Luc. Rapport de recherche, Projet HRP2 Hôpitaux Regroupement Partage Pilotage : Livrable D1.1 et 2.1. 48 p., <http://www.laspi.fr/hrp2/livrables-publies> dernière consultation le 19/10/2006.
- TRILLING, L. (2005). Le Centre Hospitalier de Valence : de la phase transitoire à l'eménagement dans les nouvelles installations. Rapport de recherche, Projet HRP2 Hôpitaux Regroupement Partage Pilotage : Livrable D1.3. 53 p., <http://www.laspi.fr/hrp2/livrables-publies> dernière consultation le 19/10/2006.
- TRILLING, L., ALBERT, F. et MARCON, E. (2006a). Simulation and integer programming approach for efficient shift design. In *INCOM 06*, volume 3, pages 621–626, Saint Etienne, France.
- TRILLING, L., BESOMBES, B., CHAABANE, S. et GUINET, A. (2004a). Investigation et comparaison des méthodes et outils d'analyse pour l'étude des systèmes hospitaliers. Rapport de recherche, Projet HRP2 Hôpitaux Regroupement Partage Pilotage : Livrable D1.0. 58 p., <http://www.laspi.fr/hrp2/livrables-publies> dernière consultation le 19/10/2006.
- TRILLING, L. et GUINET, A. (2005a). Aide à la décision pour la gestion quantitative des ressources humaines : comment lever la contrainte financière hospitalière? In *Conférence de Génie Industriel (GI 2005)*, Besançon, France.
- TRILLING, L. et GUINET, A. (2005b). Some user friendly models to support head nurses management activities. In *IESM 2005*, Marrakech, Maroc.
- TRILLING, L. et GUINET, A. (2005c). Taxinomie des processus de soins et des organisations de plateaux médico-techniques. Rapport de recherche, Projet HRP2 Hôpitaux Regroupement Partage Pilotage : Livrable D1.2 et 3.2. 31 p., <http://www.laspi.fr/hrp2/livrables-publies> dernière consultation le 19/10/2006.
- TRILLING, L. et GUINET, A. (2006). Utilisation d'un solveur libre pour la planification des infirmiers anesthésistes : validation du choix par l'analyse comparative des performances de plusieurs solveurs. In *GISEH 06*, Luxembourg Ville, Lux.
- TRILLING, L., GUINET, A. et CHOMEL, P. Y. (2004b). Comparaison de méthodes et outils d'analyse : Etude d'un plateau médico-technique regroupé avec le cadre de modélisation ARIS. In *GISEH 04*, pages 346–356, Mons.
- TRILLING, L., GUINET, A. et LE MAGNY, D. (2005). Planification de ressources mutualisées : le cas des infirmiers anesthésistes. In *JDMACS*, Lyon.

- TRILLING, L., GUINET, A. et LE MAGNY, D. (2006b). Nurse scheduling using integer linear programming and constraint programming. In *INCOM 06*, volume 3, pages 671–676, Saint Etienne, France.
- VALLANCIEN, G. (2006). L'évaluation de la sécurité, de la qualité et de la continuité des soins chirurgicaux dans les petits hôpitaux publics en france. Rapport au ministre de la santé et des solidarités. <http://www.snphar.com/news/stock/RapportchirurgieAvril2006.pdf> dernière consultation le 19/10/2006.
- VALOUXIS, C. et HOUSOS, E. (2000). Hybrid optimization techniques for the workshift and rest assignment of nursing personnel. *Artificial Intelligence in Medicine*, 20:155–175.
- VENKATARAMAN, R. et BRUSCO, M. J. (1996). An integrated analysis of nurse staffing and scheduling policies. *Omega International Journal of Management Science*, 24:57–71.
- VERNADAT, F. (1999). *Techniques de modélisation en entreprise : application aux processus opérationnels*. Editions Economica. Paris.
- VIDAL, B., GRANDHAYE, J., VIGNERON, J. et HOFFMAN, M. (2004). Création de valeur et complexité des services hospitaliers fonctionnant en réseau : étude méthodologique dans un service d'hématologie associé à un réseau d'oncologie. In *GISEH 2004*, pages 357–369, Mons, Belgique.
- VIGNERON, E. (2000). *Santé et territoires*. La documentation française. Paris.
- WANG, T. (2005). *Gestion du personnel paramédical : Conception d'un réseau des services hospitaliers et système d'aide à la décision de staffing et scheduling*. Mémoire de Master Informatique spécialité Aide à la Décision pour l'Entreprise, Laboratoire PRISMa, INSA de Lyon.
- WARNER, M. (1976). Nurse staffing, scheduling and reallocation in the hospital. *Hospital and Health Services Administration*, 21(3):77–90.
- WEIL, G., HEUS, K., FRANÇOIS, P. et POUJADE, M. (1995). Constraint programming for nurse scheduling. *IEEE Engeneering in Medicine and Biology*, 14(4):417–422.
- WEIL, G., HEUS, K. et PUGET, F. (1994). Gymnaste : Aide à l'élaboration des roulements infirmiers - du traitement des absences au management participatif. *Informatique et Santé*, 7:147–160.
- WEIL, G., HIROUX, M., CHAN, P. et JOSEPH, R. (2003). Plannings des personnels dans l'unité de soins : un défi technique et sociologique ou le casse tête aménagé. In *GISEH 2003*, Lyon, France.
- WILLIAMS, T. J. (1992). *The Purdue Enterprise Reference Architecture and Methodology*. Instrument Society of America, Research triangle Park, NC.
- WRIGHT, P. D., BRETTHAUER, K. M. et CÔTÉ, M. J. (2006). Reexamining the nurse scheduling problem : staffing ratios and nursing shortages. *Decision Sciences*, 37(1):39–70.

FOLIO ADMINISTRATIF

THÈSE SOUTENUE DEVANT L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON

NOM : TRILLING

DATE de SOUTENANCE : 7 novembre 2006

Prénoms : Lorraine, Aurore

TITRE : Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier

NATURE : Doctorat

Numéro d'ordre : 2006-ISAL-0077

École doctorale : Informatique et Information pour la Société (EDIIS)

Spécialité : Informatique et Information pour la Société

Cote B.I.U. - Lyon : T 50/210/19 / et bis

CLASSE :

RÉSUMÉ :

Le regroupement des blocs opératoires au sein d'un Plateau Médico-Technique (PMT) présente des enjeux dans la phase de conception (dimensionnement des ressources et choix d'organisation) et dans la phase de pilotage (planification de l'activité et affectation des ressources humaines et matérielles) face auxquels les décideurs hospitaliers manquent d'outils. En réponse à ces besoins, cette thèse propose une démarche globale d'aide à la décision pour la conception du PMT et le pilotage des ressources humaines mutualisées de ce secteur. Cette démarche aborde trois principaux problèmes. Dans un premier temps, nous nous intéressons à la modélisation des processus de PMT existants, dont le but est de faire émerger un diagnostic et d'engager une démarche d'amélioration de la performance. Ces modèles sont réutilisés dans un second temps pour la modélisation des processus cibles qui nous permettent d'obtenir, par simulation de l'activité, les courbes de charge exprimant les besoins en personnel. Nous abordons la question du dimensionnement du personnel regroupé du PMT par la construction des vacations couvrant cette charge prévisionnelle, à l'aide de la Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) couplée à la simulation de flux. Dans un troisième temps, nous étudions deux problèmes de planification d'horaires de travail : celui des infirmiers anesthésistes et celui des médecins anesthésistes, pour lesquels nous développons plusieurs approches de résolution basées sur la Programmation Linéaire Mixte (PLM) et sur la Programmation Par Contraintes (PPC), expérimentées et validées dans le cadre d'applications réelles.

MOTS-CLÉS : Regroupement hospitalier, aide à la décision, modélisation d'entreprise, planification des ressources humaines, programmation linéaire en nombres entiers, programmation par contraintes.

Laboratoire(s) de recherche : PRISMa (Laboratoire de Productique et Informatique des Systèmes
Manufacturiers)
INSA de Lyon
20, avenue Albert Einstein
69621 Villeurbanne Cedex FRANCE

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Alain GUINET

Président du jury : Bernard DESCOTES-GENON

Composition du jury : Bernard DESCOTES-GENON, Professeur à l'Université Joseph Fourier de Grenoble, Président
Gérard FONTAN, Professeur à l'INP de Toulouse, Rapporteur
Christian TAHON, Professeur à l'Université de Valenciennes, Rapporteur
Michel GOURGAND, Professeur à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, Examinateur
Dominique LEMAGNY, Praticien hospitalier au Centre Hospitalier de Valence, Examinateur
Alain GUINET, Professeur à l'INSA de Lyon, Directeur de thèse
Jean-Paul VIALE, Professeur et praticien hospitalier aux Hospices Civils de Lyon, Co-directeur de thèse

Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier

Résumé :

Le regroupement des blocs opératoires au sein d'un Plateau Médico-Technique (PMT) présente des enjeux dans la phase de conception (dimensionnement des ressources et choix d'organisation) et dans la phase de pilotage (planification de l'activité et affectation des ressources humaines et matérielles) face auxquels les décideurs hospitaliers manquent d'outils. En réponse à ces besoins, cette thèse propose une démarche globale d'aide à la décision pour la conception du PMT et le pilotage des ressources humaines mutualisées de ce secteur. Cette démarche aborde trois principaux problèmes. Dans un premier temps, nous nous intéressons à la modélisation des processus de PMT existants, dont le but est de faire émerger un diagnostic et d'engager une démarche d'amélioration de la performance. Ces modèles sont réutilisés dans un second temps pour la modélisation des processus cibles qui nous permettent d'obtenir, par simulation de l'activité, les courbes de charge exprimant les besoins en personnel. Nous abordons la question du dimensionnement du personnel regroupé du PMT par la construction des vacations couvrant cette charge prévisionnelle, à l'aide de la Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) couplée à la simulation de flux. Dans un troisième temps, nous étudions deux problèmes de planification d'horaires de travail : celui des infirmiers anesthésistes et celui des médecins anesthésistes, pour lesquels nous développons plusieurs approches de résolution basées sur la Programmation Linéaire Mixte (PLM) et sur la Programmation Par Contraintes (PPC), expérimentées et validées dans le cadre d'applications réelles.

Mots-clés :

Regroupement hospitalier, aide à la décision, modélisation d'entreprise, planification des ressources humaines, programmation linéaire en nombres entiers, programmation par contraintes.

Decision support for pooled human resource staffing and scheduling in healthcare

Abstract :

To reduce cost and optimize the use of resources, hospitals are prompted to regroup facilities and human resources, especially in the surgical suite. The principle of sharing resources from several surgical specialties in a multi-disciplinary surgical suite raises a number of issues, particularly regarding the design of the new structure (resources sizing, organizational alternatives) and its steering process (scheduling surgery, allocating human and material resources). At the moment, decision makers are lacking tools to address these challenges. This thesis proposes a global decision support methodology for designing the surgical suite and steering the pooled human resources. This methodology involves three main steps. We first carry out the process modeling of existing surgical suites, in order to elaborate a diagnosis and to initiate a methodology for performance improvement. In a second step these existing process models are used as a basis to elaborate models of the targeted process. These new models allow building up an activity simulation tool that enables to generate curves representing workforce requirements. We address the staffing problem of pooled personnel through the design of a set of shifts covering the estimated workload, using Integer Linear Programming (ILP) combined with discrete event simulation. In a third time, we focus on the anesthesiology personnel (nurses and physician), which are generally organized in pools of personnel, and propose solutions to the related scheduling problems. Approaches based on Mixed Linear Programming (MLP) and Constraint Programming (CP) have been developed, experimented and validated in real-world applications.

Keywords :

Healthcare management, decision support, enterprise modelling, personnel scheduling, integer linear programming, constraint programming.
