



HAL
open science

Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnement des ressources dans les services de soins

Aïda Jebali

► To cite this version:

Aïda Jebali. Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnement des ressources dans les services de soins. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2004. Français. NNT: . tel-00169958

HAL Id: tel-00169958

<https://theses.hal.science/tel-00169958>

Submitted on 5 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.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N°

T H E S E

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INPG

Spécialité : Génie Industriel

préparée au Laboratoire d'Automatique de Grenoble (LAG)

dans le cadre de l'École Doctorale Organisation Industrielle et Systèmes de Production

présentée et soutenue publiquement

par

Aïda JEBALI

le 27 avril 2004

Titre :

**VERS UN OUTIL D'AIDE A LA PLANIFICATION ET A L'ORDONNANCEMENT DES
RESSOURCES DANS LES SERVICES DE SOINS**

Directeur de thèse : M. Pierre Ladet

JURY

Mme	Mireille JACOMINO	Professeur à l'INP de Grenoble,	Président
M.	Michel GOURGAND	Professeur à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand,	Rapporteur
M.	Christian TAHON	Professeur à l'Université de Valenciennes,	Rapporteur
M.	Alain GUINET	Professeur à l'INSA de Lyon,	Examineur
M.	Jean-Paul VIALE	Professeur et responsable du secteur Anesthésie Réanimation à l'hôpital de la Croix Rousse,	Examineur
M.	Pierre LADET	Professeur à l'INP de Grenoble,	Directeur de thèse
Mme	Atidel HADJ ALOUANE	Maître-assistant à l'École Nationale d'Ingénieurs de Tunis ,	Co-encadrant

Remerciements

Les travaux présentés dans cette thèse ont été développés au sein du Laboratoire d'Automatique de Grenoble, dans le cadre de l'axe de recherche Conduite des Système Sûrs (CS²) du groupe de recherche en PROductique et Systèmes à Evénements Discrets (PROSED).

Je tiens à exprimer en premier lieu ma gratitude à mon directeur de thèse Monsieur Pierre LADET, professeur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Je le remercie pour le cadre de travail convivial qu'il m'a fourni, pour ses conseils judicieux et ses critiques qui m'ont permis de mener à bien ces travaux. Au-delà de l'apport scientifique et de recherche, je remercie Monsieur LADET pour m'avoir offert l'opportunité d'enseigner et d'encadrer des étudiants en DEA et aussi pour m'avoir donné la possibilité de participer au projet de recherche HRP (Hospital Resource Planning) soutenu par la Région Rhône-Alpes. Enfin, je ne saurais jamais assez le remercier pour sa confiance, ses encouragements, sa gentillesse et pour tout ce que j'ai appris grâce à lui.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à Madame Atidel HADJ ALOUANE, maître-assistant à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis pour son encadrement et ses conseils. Merci pour votre confiance, pour les échanges fructueux et pour votre collaboration dans la réalisation de ce travail.

Je remercie Monsieur Michel GOURGAND, Professeur à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour le temps qu'il en a consacré en acceptant d'être rapporteur.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Christian TAHON, Professeur à l'Université de Valenciennes, pour ses remarques constructives et pour la lecture attentive qu'il en a fait et qui a contribué à l'enrichissement de ce travail.

Je remercie Monsieur Alain GUINET, Professeur à l'INSA de Lyon, d'avoir accepté d'être membre du jury de soutenance et pour l'analyse minutieuse qu'il a menée sur ce mémoire. L'intérêt qu'il a porté à ce travail m'a très honoré.

Je remercie Monsieur Jean-Paul VIALE, Professeur et responsable du secteur Anesthésie Réanimation à l'hôpital de la Croix Rousse, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie vivement Madame Mireille JACOMINO, Professeur à l'INP de Grenoble, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance et pour son intérêt à ce travail.

Je remercie M. Luc DUGARD (ancien directeur du LAG) et M. Alain BARRAUD (directeur actuel du LAG), pour m'avoir accueillie au Laboratoire d'Automatique de Grenoble et de m'avoir permis d'effectuer ces travaux de recherche.

Je remercie M. ALLA, responsable de l'axe CS², pour sa disponibilité et ses conseils.

Que tous les membres du Laboratoire d'Automatique de Grenoble trouvent l'expression de mes sincères remerciements. J'adresse un merci particulier à Mme Marie-Thérèse DESCOTES-GENON, Mme Marie-Rose ALFARA, Mme Patricia RAYNIER, Mme Virginie GRIMALDI et Mme Isabelle SIBUT pour leur assistance. Merci également à l'ensemble du personnel technique pour leur disponibilité.

Je tiens également à remercier l'ensemble des partenaires universitaires et professionnels du projet HRP (Hospital Resource Planning). Je remercie en particulier M. Said KHARRAJA et M. Eric MARCON pour leur collaboration et leur aide. Je remercie également Mme Nicole SMOLSKY médecin Anesthésiste Réanimateur à l'hôpital de la Croix Rousse (HCR) et M. Jean-Paul VIALE responsable du secteur Anesthésie Réanimation de l'HCR pour la pertinence des réponses qu'ils ont pu nous apporter.

Je tiens à remercier M. Nejib YOUSSEF, directeur de l'hôpital Charles Nicolle de Tunis, pour son accueil chaleureux et pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer un stage au service chirurgie générale « Beau Séjour » (BS). Ce stage m'a permis de découvrir pour la première fois le Monde de l'hôpital. Je tiens également à remercier M. Nebil NEJEH chef de service chirurgie générale BS et M. Mohamed LAZIZ HANI médecin chirurgien à BS, pour le temps qu'ils m'ont accordé pour répondre à mes questions.

Je remercie M. Philippe MARTINEZ de m'avoir aidée à peaufiner ma thèse.

Je voudrais remercier tous les doctorants du groupe PROSED, pour la bonne ambiance, en particulier je ne saurai oublier le soutien et l'aide de Mme Hanen BOUCHRIHA et Mme Sondes HAMMAMI, la sympathie de Mme Amal KOBESSI, M. Moez YEDDES et M. Alexandru Tiberiu SAVA.

Je remercie également Mme Boutheyne CHERIF, Mme Olfa Mzani et Mme Hanen AKROUT pour leur soutien et pour leur amitié. J'ai aimé les agréables moments que nous avons eu l'occasion de passer ensemble.

Merci à toute ma famille, à mes parents et à mon mari qui m'ont soutenu en toutes circonstances et sans qui, ce travail n'aurait pu arriver à terme. Merci pour la confiance qu'ils ont placé en moi.

Enfin, que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE **15**

CHAPITRE 1 : LES SYSTEMES DE PRODUCTION DE SOINS ET LE CONTEXTE HOSPITALIER **21**

1. INTRODUCTION	23
2. LE CONTEXTE HOSPITALIER	23
2.1. INTRODUCTION	23
2.2. LE SYSTEME HOSPITALIER EN FRANCE	24
2.3. ORGANISATION INTERNE DE L'HOPITAL (CHR-CHU)	24
2.4. GESTION HOSPITALIERE : DEFINITION, OBJECTIFS, COMPOSANTES ET DIFFICULTES	28
2.5. LE SYSTEME HOSPITALIER DANS D'AUTRES PAYS INDUSTRIALISES	30
3. LE SYSTEME DE PRODUCTION DE SOINS	31
3.1. SPECIFICITES DES SERVICES DE SOINS	31
3.2. CARACTERISATION DU SYSTEME DE PRODUCTION DE SOINS	33
3.3. COMMENT CONSIDERER LE SYSTEME DE PRODUCTION DE SOINS ?	36
3.4. LES NOTIONS DE FLUX, CLASSES DE PATIENTS, DE GAMME ET DE NOMENCLATURE DANS LES SYSTEMES DE PRODUCTION DE SOINS	37
4. CONCLUSION	40

CHAPITRE 2 : LA GESTION HOSPITALIERE EN TERMES DE PLANIFICATION ET D'AFFECTION DE RESSOURCES **43**

1. INTRODUCTION	45
2. LE PROBLEME DE LA PLANIFICATION ET DE L'AFFECTION DE RESSOURCES DANS LES SYSTEMES DE PRODUCTION DE SOINS	45
2.1. PRESENTATION DU PROBLEME	45
2.2. UNE TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE PLANIFICATION ET D'AFFECTION DE RESSOURCES EN MILIEU HOSPITALIER	46
2.3. QUELQUES PARTICULARITES DE CE PROBLEME DANS LE MILIEU HOSPITALIER	47
3. METHODES ET TECHNIQUES POUR LA PLANIFICATION ET L'AFFECTION DE RESSOURCES DANS LES SYSTEMES DE SOINS	48
3.1. PLANIFICATION DES ADMISSIONS	48
3.2. DIMENSIONNEMENT ET ALLOCATION DES LITS D'HOSPITALISATION	51
3.3. PLANIFICATION DU PERSONNEL	53
3.4. PLANIFICATION DU BLOC OPERATOIRE	56
3.5. PLANIFICATION DES LITS DANS LES SOINS INTENSIFS	63
3.6. PLANIFICATION D'AUTRES RESSOURCES AU SEIN DE L'HOPITAL	65
3.7. SYNTHESE ET CONCLUSION	69
4. NOTRE APPROCHE	74
4.1. UNE APPROCHE CENTREE SUR LE PROCESSUS DE SOINS	74
4.2. LES NIVEAUX DECISIONNELS	76

4.3. CHAMPS DE L'ETUDE : ETUDE D'UN PROCESSUS DE SOINS COMPORTANT UNE ETAPE CHIRURGICALE	76
4.4. ILLUSTRATION DE NOTRE APPROCHE SUR UN PROCESSUS DE SOINS COMPORTANT UNE ETAPE CHIRURGICALE	77
5. CONCLUSION	80

CHAPITRE 3 : LA PLANIFICATION DES ADMISSIONS **81**

1. INTRODUCTION	83
2. QUELQUES PRATIQUES DE PLANIFICATION DES ADMISSIONS	83
3. UNE METHODE POUR LA PLANIFICATION DES ADMISSIONS	85
3.1. MATRICE DE DISPONIBILITE RESIDUELLE ASSOCIEE A UN PROCESSUS DE SOINS	85
3.2. DESCRIPTION DE LA METHODE DE PLANIFICATION DES ADMISSIONS	86
3.3. RECHERCHE D'UNE DATE D'HOSPITALISATION	89
3.4. PROCESSUS DE CONFIRMATION DES DATES D'HOSPITALISATION	102
4. EXPERIMENTATION DE LA METHODE PROPOSEE	110
4.1. EXPERIMENTATION DE L'ALGORITHME DE RECHERCHE D'UNE DATE D'HOSPITALISATION	110
4.2. EXPERIMENTATION DU PROGRAMME LINEAIRE EN NOMBRES ENTIERS (0-1) DE RECALCUL DES DATES D'HOSPITALISATION	111
4.3. EXPERIMENTATION DU PROGRAMME LINEAIRE MIXTE DE PLANIFICATION DES INTERVENTIONS	114
4.4. UNE APPROCHE HEURISTIQUE POUR LA PLANIFICATION DES INTERVENTIONS	116
5. CONCLUSION	121

CHAPITRE 4 : QUELQUES STRATEGIES POUR LA CONSTRUCTION D'UN PROGRAMME OPERATOIRE **123**

1. INTRODUCTION	125
2. PRE-REQUIS DE LA PROGRAMMATION OPERATOIRE	126
2.1. FLUX DE PATIENTS ET PROCESSUS CHIRURGICAL	126
2.2. TEMPS OPERATOIRES	128
2.3. APPROCHES POUR LA CONSTRUCTION D'UN PROGRAMME OPERATOIRE	128
3. AFFECTATION DES INTERVENTIONS AUX SALLES D'OPERATION	131
3.1. NOTATIONS	132
3.2. LE MODELE D'AFFECTATION	133
3.3. EXPERIMENTATION	134
4. ORDONNANCEMENT DES INTERVENTIONS	138
4.1. ORDONNANCEMENT DES INTERVENTIONS CENTRE SUR LES SALLES D'OPERATION	139
4.2. ORDONNANCEMENT DES INTERVENTIONS CENTRE SUR L'ENSEMBLE « SALLES D'OPERATION-SSPI »	141
4.3. EXPERIMENTATION	145
4.4. DIMENSIONNEMENT DE LA SSPI PERMETTANT UNE PROGRAMMATION OPERATOIRE CENTREE SUR LES SALLES D'OPERATION	150
5. CONCLUSION	155

CHAPITRE 5 : VERS UN PILOTAGE TEMPS-REEL DU BLOC OPERATOIRE **157**

1. INTRODUCTION	159
2. SUR LA PRISE EN COMPTE DE L'URGENCE DANS LE PROGRAMME OPERATOIRE	159
3. UNE APPROCHE POUR LA PRISE EN COMPTE DE L'URGENCE DANS LE PROGRAMME OPERATOIRE	161
3.1. LA PRISE EN COMPTE DE L'ALEA DANS L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL	161

3.2. MODELISATION DU BLOC OPERATOIRE	163
3.3. DESCRIPTION DE L'APPROCHE	171
3.4. AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES DE L'APPROCHE	178
4. CONCLUSION	178
<u>CHAPITRE 6 : VALIDATION DE L'APPROCHE PROPOSEE</u>	<u>181</u>
1. INTRODUCTION	183
2. EXEMPLE D'APPLICATION	183
2.1. DESCRIPTION	183
2.2. DONNEES	184
3. RESULTATS EXPERIMENTAUX	185
3.1. PROCESSUS D'APPLICATION DE L'APPROCHE	185
3.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX	187
4. CONCLUSION	197
<u>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</u>	<u>199</u>
1. CONCLUSIONS	201
2. PERSPECTIVES	204
2.1. APPROFONDISSEMENT DE LA RECHERCHE	204
2.2. ELARGISSEMENT DE LA RECHERCHE	205
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>207</u>
<u>ANNEXES</u>	<u>223</u>
<u>ANNEXE A : ALGORITHME DE DETERMINATION DE LISTE MINIMALE</u>	<u>225</u>
1. NOTATIONS	227
2. ALGORITHME	227
<u>ANNEXE B : PRESENTATION GENERALE DES RDPS</u>	<u>229</u>
1. INTRODUCTION	231
2. LE MODELE RDP AUTONOME	231
3. LE MODELE RDP T-TEMPOREL [SAVA, 2001]	232

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vision structurelle d'un système hospitalier [Combes, 1994]	25
Figure 2 : Du processus au mode de prise en charge [Crémadez, 1997]	33
Figure 3 : Squelette de la nomenclature de ressources correspondant au DRG 111	39
Figure 4 : Classification des patients : un point de rencontre entre système de production de biens et système de production de soins.....	40
Figure 5 : Transposition des trois niveaux de planification du MRP II au bloc opératoire	59
[Rossi-Turk, 2002].....	59
Figure 6 : Modèle général d'une unité de soins intensifs [Kim <i>et al.</i> , 1999].....	64
Figure 7 : Vue d'une opération de soins à partir des ressources qui y interviennent	75
Figure 8 : Vue globale d'un processus de soins passant par la chirurgie	78
Figure 9 : Vue « ressources » d'un processus de soins passant par la chirurgie	79
Figure 10 : La matrice de disponibilité résiduelle (A).....	86
Figure 11 : Description des étapes de la méthode de planification des admissions	87
Figure 12 : Horizons temporels de la procédure de planification des admissions	88
Figure 13 : Organigramme de l'algorithme de recherche d'une date d'hospitalisation	95
Figure 14 : Éléments décisionnels de la mise à jour	98
Figure 15 : L'algorithme de replanification des interventions	100
Figure 16 : Étapes de la création du programme opératoire	104
Figure 17 : Processus temporel de confirmation des dates d'hospitalisation	105
Figure 18 : L'algorithme de planification des interventions.....	119
Figure 19 : Flux de patients dans le service de chirurgie.....	126
Figure 20 : Vue d'une intervention chirurgicale à partir des ressources qui y interviennent	127
Figure 21 : Flux informationnels intervenant dans la construction du programme opératoire.....	130
Figure 22 : Etapes et phases d'une intervention	164
Figure 23 : Modèle RdP T-temporel de fonctionnement du bloc opératoire en supposant l'arrivée d'une urgence à l'instant t'	165
Figure 24 : Schéma du principe général de la supervision	166
Figure 25 : Modélisation d'une opération de soins O_u	168
Figure 26 : Diagramme de Gantt relatif à l'ordonnancement d'une ressource R_k	169
Figure 27 : Analyse temporelle d'un ordonnancement donnant un état interdit.....	170
Figure 28 : Horizon temporel considéré dans l'expérimentation.....	184
Figure 29 : Schéma expérimental de l'approche proposée sur l'horizon de 8 jours	187
Figure 30 : Représentation d'un RdP	231

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des problèmes de planification et d'affectation de ressources posés en milieu hospitalier.....	72
Tableau 2 : Résultats obtenus par l'algorithme de détermination de date d'hospitalisation	111
Tableau 3 : Capacités effectives en fonction du jour de la semaine	112
Tableau 4 : Résultats du recalcul des dates d'hospitalisation.....	113
Tableau 5 : Résultats de la planification des interventions	115
Tableau 6 : Résultats de l'heuristique obtenus pour le problème N°13.....	120
Tableau 7 : Performances obtenus par l'heuristique et par le modèle de planification (PL2).....	120
Tableau 8 : Résultats d'affectations des interventions aux salles d'opération.....	136
Tableau 9 : Quelques critères de performance pour comparer les deux stratégies d'affectation.....	137
Tableau 10 : Ordonnancement centré sur les salles d'opération.....	147
Tableau 11 : Dépassement des heures régulières.....	148
Tableau 12 : Ordonnancement centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI »	149
Tableau 13 : Dépassement des heures régulières.....	150
Tableau 14 : Nombre de lits de la SSPI autorisant un ordonnancement centré sur les salles d'opération.....	154
Tableau 15 : Pourcentage cumulé des cas nécessitant un nombre donné de lits suffisant	155
Tableau 16 : Actions du superviseur.....	170
Tableau 17 : Résultat de la planification des interventions obtenu le vendredi de la semaine S_0	187
Tableau 18 : Résultat du recalcul des dates d'hospitalisation pour la matrice de disponibilité résiduelle du lundi de la semaine S_1	188
Tableau 19 : Résultat de l'ordonnancement des interventions du lundi de la semaine S_1	189
Tableau 20 : Résultats de la planification des admissions effectuée	189
le lundi de la semaine S_1	189
Tableau 21 : Résultat relatif à la demande d'admission d'un cas urgent reçue	190
le lundi de la semaine S_1	190
Tableau 22 : Résultat de l'ordonnancement des interventions	190
du mardi de la semaine S_1	190
Tableau 23 : Résultats de la planification des admissions effectuée le mardi de la semaine S_1	191
Tableau 24 : Résultat relatif à deux demandes d'admission de cas urgent reçues	191
le mardi de la semaine S_1	191
Tableau 25 : Résultat de recalcul des dates d'hospitalisation pour la matrice de disponibilité résiduelle du mercredi de la semaine S_1	192
Tableau 26 : Résultat de l'ordonnancement des interventions	192
du mercredi de la semaine S_1	192
Tableau 27 : Résultats de la planification des admissions effectuée	193
le mercredi de la semaine S_1	193
Tableau 28 : Résultat relatif à la demande d'admission d'un cas urgent reçue	193
le mercredi de la semaine S_1	193
Tableau 29 : Résultat de l'ordonnancement des interventions du jeudi de la semaine S_1	193
Tableau 30 : Résultats de la planification des admissions effectuée	194
le jeudi de la semaine S_1	194
Tableau 31 : Résultat relatif à la demande d'admission d'un cas urgent reçue	194
le jeudi de la semaine S_1	194
Tableau 32 : Résultat de l'ordonnancement des interventions	194
du vendredi de la semaine S_1	194

Tableau 33 : Résultats de la planification des admissions effectuée	195
le vendredi de la semaine S_1	195
Tableau 34 : Résultat relatif à deux demandes d'admission de cas urgent reçues	195
le vendredi de la semaine S_1	195
Tableau 35 : Résultats de la planification des interventions obtenus	196
le vendredi de la semaine S_1	196
Tableau 36 : Interprétation des places et des transitions d'un RdP [Limam, 1999]	231

Introduction générale

Les établissements hospitaliers sont confrontés depuis les deux dernières décades à une mutation imposée par leur tutelle et leurs usagers. Cette mutation devrait les conduire à mettre en place une organisation plus efficiente et les forcer à aller vers une gestion beaucoup plus objective et rigoureuse des ressources. L'objectif est d'apporter au secteur de santé, qui induit des coûts très importants, des gains significatifs en termes d'efficacité et de productivité tout en veillant à l'amélioration de la qualité des soins. Devant cette mutation, les systèmes hospitaliers montrent de plus en plus un besoin d'être assistés par des outils d'aide à la décision afin de mieux rentabiliser leur structure en assurant au patient un service rendu adapté et de qualité, au moindre coût, dans le respect des conditions de travail et de rémunération de l'ensemble des acteurs de l'établissement.

Dans ce travail de recherche, nous nous intéressons à l'un des problèmes de fonctionnement du système hospitalier : le problème de la planification et de l'affectation de ressources. Il s'agit d'un problème de grande importance dans un contexte de ressources rares, d'une croissance de la demande de soins, de plus en plus variée et exigeante, et d'une mutation vers le contrôle des dépenses de santé ainsi que l'amélioration de l'efficacité et de la productivité du secteur hospitalier.

Le problème de la planification et de l'affectation de ressources avec ses diverses variantes a fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années donnant ainsi naissance à une littérature abondante dans le domaine. Cette littérature montre l'utilisation prépondérante d'une approche de gestion centrée sur l'une des ressources, considérée comme ressource critique du système de soins. Toutefois, l'intervention d'autres ressources critiques dans le processus de prise en charge du patient, le rend contraint parfois de passer plusieurs jours à l'hôpital dans l'attente de soins ou d'examens pour lesquels celles-ci ne sont pas réellement disponibles. Ainsi, les objectifs de la planification et de l'affectation prévisionnelles ne sont pas atteints dès lors qu'il existe des ressources critiques qui n'ont pas été prises en compte.

Nous proposons ici d'explorer une approche de gestion centrée sur le processus prévu à suivre par le patient dans l'objectif de minimiser son délai de séjour dans l'hôpital ainsi que les coûts de sa prise en charge, et ce dans le respect de la qualité des soins. Cette approche sera particulièrement illustrée dans les cas de processus de soins passant par un service de chirurgie. En effet, ce type de processus représente une bonne partie des cas d'hospitalisation. Le coût que représente le bloc opératoire et les attentes importantes qu'il génère sont également à l'origine de ce choix.

Par ailleurs, nous pensons que l'expérience acquise au niveau de l'entreprise industrielle, dans le domaine de la planification et de l'affectation de ressources, pourrait être réinvestie et adaptée aux systèmes hospitaliers. En effet, une analogie entre ces deux systèmes peut toujours apparaître [Jebali, 2000]. Mais, dans ce transfert, il ne faut pas perdre de vue la présence d'éléments humains forts dans le cas des services de soins : une spécificité principale dans la production de soins. Cette spécificité est à l'origine de la complexité des systèmes de soins et de leur environnement aléatoire. S'il paraît impossible d'éliminer les aspects aléatoires, il semble indispensable de disposer d'une organisation la plus flexible possible permettant aux systèmes de soins de réagir face à ces aléas. Dans ce contexte, nous proposons de tenir compte des perturbations dans la planification et l'affectation de ressources suivant une structure hiérarchique qui porte sur les quatre niveaux décisionnels suivants :

- Une planification des admissions : elle doit fixer les dates d'hospitalisation des patients pour une intervention chirurgicale. L'horizon de planification est de quelques mois (il dépend du système de soins considéré ainsi que des pathologies traitées) [Kusters et Groot, 1996] [Guinet et Chaabane, 2002] [Jebali *et al.*, 2003c].

- Une construction du programme opératoire sur l'horizon de T jours : il s'agit de fixer les interventions à réaliser durant chaque jour de l'horizon considéré ainsi que les ressources qui seraient employées. La planification des admissions fournit au patient une date d'hospitalisation qui risque de ne pas être très fiable à cause de la possibilité d'occurrence de différentes perturbations dans le bloc opératoire (arrivée d'urgence, annulations, complications, une mauvaise estimation des temps opératoires ...). Nous proposons ainsi d'adopter un processus de confirmation de la date d'hospitalisation au patient dès construction du programme opératoire sur l'horizon de T jours.
- Une construction du programme opératoire journalier : l'objectif est de mettre à jour le programme opératoire établi sur l'horizon de T jours en intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu dans le système de soins tel que le report d'interventions à cause de prise en compte de cas urgents [Jebali *et al.*, 2003d] [Jebali *et al.*, 2003e] [Jebali *et al.*, 2003f].
- Un pilotage temp-réel du bloc opératoire : il s'agit d'orienter la décision du responsable du bloc opératoire lorsqu'un aléa se produit [Jebali *et al.*, 2002] [Jebali *et al.*, 2003a] [Jebali *et al.*, 2003b].

L'ensemble de ce mémoire s'organise en six chapitres.

Dans le chapitre 1, nous commençons par présenter le système hospitalier, son organisation et son mode de gestion d'une façon générale. Ensuite, nous mettrons l'accent sur le système de production de soins que nous caractériserons après une mise en évidence de ses spécificités et de ses particularités comme système de production de services. En effet, la notion de système de production de services constitue le fondement sur lequel nous nous appuyons pour tenter de comprendre et améliorer le système de soins hospitaliers dans une optique de confrontation de ce système avec les systèmes de production de biens. L'objectif est de regarder dans quelles limites, nous pouvons appliquer aux systèmes de production de soins des concepts, des outils et des méthodes qui ont été largement appliqués aux systèmes de production de biens.

Dans le chapitre 2, il s'agira de dresser un bilan des travaux qui ont abordé certains aspects du problème de la planification et de l'affectation des ressources dans les systèmes de soins auquel nous nous intéressons dans le présent travail. A l'issue d'une analyse de l'état de l'art, nous présentons une approche par processus pour la planification et l'affectation des ressources dans les systèmes de production de soins. Nous proposons également d'aborder le problème de la planification et de l'affectation des ressources dans une structure hiérarchique à quatre niveaux de décisions (présentés ci-dessus). Ce chapitre s'achèvera sur l'illustration de notre approche sur le cas d'étude retenu : un processus de soins passant par la chirurgie.

Le chapitre 3 sera consacré à l'étude du problème de la planification des admissions que nous proposons d'aborder selon une approche « processus ». Nous commençons par présenter quelques pratiques de planification des admissions couramment utilisées dans les systèmes de soins dans un objectif de situer l'intérêt et les limites de chacune d'elle. Nous proposons, ensuite, d'explorer une méthode pour l'aide à la planification des admissions que nous recommandons particulièrement aux services de soins devant faire face à l'occurrence de situations parfois complètement imprévisibles (telle que l'arrivée d'un nombre important de cas urgents). Nous traitons ici, d'une façon particulière, le cas d'arrivée au système de soins de patients en urgence. Afin de rendre possible la prise en charge de ce type de patients, nous considérons qu'il est possible de reporter la date d'hospitalisation d'un patient, non urgent, fournie en fin de consultation, tant que celle-ci n'a

pas encore été confirmée. Pour la confirmation des dates d'hospitalisation, nous proposons l'utilisation d'un modèle de planification des interventions sur l'horizon de T jours.

Toutefois, l'aspect aléatoire inhérent à l'activité chirurgicale oblige souvent à réviser ce programme opératoire établi sur l'horizon de T jours. Dans le chapitre 5, nous proposons une construction d'un programme opératoire journalier. Cette construction est à double objectifs : d'une part, mettre à jour le programme opératoire établi sur l'horizon de T jours en intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu dans le système de soins tel que le report d'interventions à cause d'admissions de cas urgents, non programmées à l'avance ; d'autre part, préciser l'ordre de réalisation des interventions en considérant les ressources critiques utilisées dans le processus opératoire.

Par ailleurs, nous présentons quelques stratégies de construction d'un programme opératoire journalier. Désormais, la sélection d'une stratégie dépendra du type d'interventions réalisées, des caractéristiques du bloc opératoire, des priorités qui peuvent exister entre les interventions ou aussi des avantages que peut présenter celle-ci en terme de productivité.

Dans le chapitre 5, nous présentons une approche temps-réel basée sur les réseaux de Petri (RdP) T-temporels et la modélisation mathématique pour aider au pilotage du système de soins devant l'occurrence d'aléas nécessitant de repenser le programme opératoire prévisionnel, en cours de réalisation. Parmi les différents types d'aléas auxquels doit faire face le système de soins, nous traitons ici de près le cas de prise en compte de l'urgence.

Dans le chapitre 6, nous proposons d'expérimenter les différents modèles et algorithmes d'aide à la planification, l'affectation et l'ordonnancement des ressources suivant l'hierarchie des quatre niveaux décisionnels abordés dans cette approche. L'objectif par cette expérimentation est d'illustrer le processus d'application de cette approche et montrer la cohérence des différentes décisions qu'elle aborde.

Enfin, nous concluons notre mémoire en présentant un bilan final de notre travail et en ouvrant quelques perspectives de recherches.

Chapitre 1 : Les systèmes de production de soins et le contexte hospitalier

Ce chapitre sera consacré à l'étude de l'environnement hospitalier de point de vue organisation et mode de gestion. L'intérêt sera ensuite particulièrement focalisé sur les systèmes de production de soins dans le contexte hospitalier.

1. Introduction

Les établissements hospitaliers sont confrontés depuis les deux dernières décades à une mutation, imposée par leur tutelle et les usagers, qui devrait les conduire vers la mise en place d'une organisation plus efficiente. Cette mutation rappelle la situation des systèmes industriels au début des années 80 lorsque ces systèmes ont été confrontés à de nouvelles situations économiques et environnementales, à la suite de la hausse des matières premières et de la prise de conscience de la dégradation de l'environnement. Depuis, ces systèmes industriels sont allés vers une gestion beaucoup plus objective et rigoureuse des ressources.

Nous commencerons par présenter ici le système hospitalier, son organisation et son mode de gestion d'une façon générale. Ensuite, nous mettrons l'accent sur le système de production de soins que nous caractériserons après une mise en évidence de ses spécificités et de ses particularités comme système de production de services de type technique et relationnel [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997]. En effet, la notion de système de production de services constitue le fondement sur lequel nous nous appuyons pour tenter de comprendre et d'améliorer le système de soins hospitaliers dans une optique de confrontation de ce système avec les systèmes de production de biens et en mettant en exergue les similarités et les différences des deux systèmes.

2. Le contexte hospitalier

2.1. Introduction

Depuis l'ère caritative, l'hôpital est un établissement public ou privé, dans lequel sont effectués tous les soins médicaux et chirurgicaux, ainsi que, plus récemment les accouchements. Il comporte, outre les lits d'hospitalisation, toutes les installations et les appareillages nécessités par les problèmes multiples que posent le diagnostic et le traitement des maladies et des blessures.

A partir de la Deuxième Guerre mondiale, l'hôpital est entré dans un mouvement de spécialisation, qui n'a pas cessé depuis, avec des services d'hospitalisation dédiés à des classes de pathologies particulières, et de technicisation, avec l'apparition d'un plateau technique chargé d'un certain nombre d'actes thérapeutiques ou d'aide au diagnostic se séparant progressivement des services cliniques.

En 1991, une réforme hospitalière a été engagée en France et confirmée par les ordonnances d'avril 1996, mettant notamment l'accent sur les projets des établissements, sur la nécessité de développer l'information médicale, et sur l'élaboration d'une planification au niveau régional. A travers ces réformes, les pouvoirs publics ont cherché à impulser une nouvelle dynamique collective permettant d'améliorer la performance des établissements hospitaliers en termes de qualité de soins et de productivité.

Cependant, l'établissement de santé est toujours en proie à de nombreuses turbulences notamment parce qu'il n'a pas encore trouvé les outils et les méthodes qui lui permettraient d'approcher une optimisation de son fonctionnement.

Après une description du système hospitalier en France, de son organisation, aussi bien au niveau régional qu'au niveau interne, mettant l'accent sur les particularités organisationnelles de ce système, nous abordons les bases et les difficultés d'une gestion hospitalière à travers les projets de rationalisation.

2.2. Le système hospitalier en France

Les établissements hospitaliers français se répartissent en quatre grandes catégories. Les hôpitaux de court séjour, ceux de moyen séjour, ceux de long séjour et le secteur hospitalier psychiatrique [Pouvoirville, 1996]. L'originalité du secteur hospitalier français réside dans l'existence d'un secteur privé important mais peu présent en moyen et long séjours, contrairement au secteur public, présent sur tous les segments d'activité.

On distingue deux types d'établissements privés [Landry et Beaulieu, 2000] :

- Les établissements privés à but lucratif, appelés cliniques privées. Ces cliniques sont gérées par des sociétés commerciales. Ces établissements sont libres de fixer leur prix et de choisir les activités qui leur semblent les plus rentables.
- Les établissements privés à but non lucratif, appelés aussi hôpitaux privés, sont gérés par des organismes de sécurité sociale, des mutuelles, des fondations ou des associations. Ils peuvent participer au service public s'ils répondent à certaines conditions de fonctionnement et d'organisation. En contrepartie, ceux-ci peuvent bénéficier de certains avantages tels que des subventions ou l'emploi de praticiens du service public.

Le secteur public de santé est organisé en une hiérarchie d'établissements offrant une gamme croissante de soins. Dans le haut de l'échelle, on trouve les centres hospitaliers régionaux (CHR), le plus souvent associés aux facultés de médecine (CHU). Il peut y avoir plusieurs CHR dans une même région administrative. Le CHR offre, en plus de la gamme complète de soins (de court, moyen et long séjours), les soins les plus spécialisés de la région. Il existe ensuite des centres hospitaliers dans des villes moyennes, regroupant une gamme complète de soins mais avec une offre court séjour moins large que celle des CHR. La base est constituée par un service d'accueil des urgences, un service de chirurgie, un service de médecine, une maternité, un plateau technique d'imagerie médicale et de laboratoires auxquels se sont ajoutés des services médicaux plus spécialisés. Enfin, en bas de l'échelle, existent des hôpitaux locaux, qui sont plutôt des structures d'hébergement légères avec un plateau technique minimal, mises à la disposition des médecins libéraux locaux.

Dans cette étude, nous nous intéressons aux CHR-CHU.

2.3. Organisation interne de l'hôpital (CHR-CHU)

2.3.1. Description de l'organisation interne de l'hôpital

En matière d'organisation, il est un point sur lequel la culture hospitalière est particulièrement enracinée, c'est la notion de structure de prise en charge au sens d'unité territoriale regroupant des équipes soignantes dédiées à une activité (centrées sur un organe ou une pathologie comme l'est en général le service, ou bien sur la mise en œuvre de certains moyens techniques comme le sont généralement les unités fonctionnelles) [Crémadez, 1997].

Le système hospitalier est par ailleurs une organisation hiérarchique. Il est gouverné par un système central de gestion et d'approvisionnement et géré par un conseil d'administration et un directeur général. La direction est chargée de différentes unités : les unités de soins (secteur de production de soins) et les unités administratives. Ces unités sont subdivisées en services classés selon leurs activités [Combes, 1994]. La figure 1 donne une vision structurelle d'un système hospitalier.

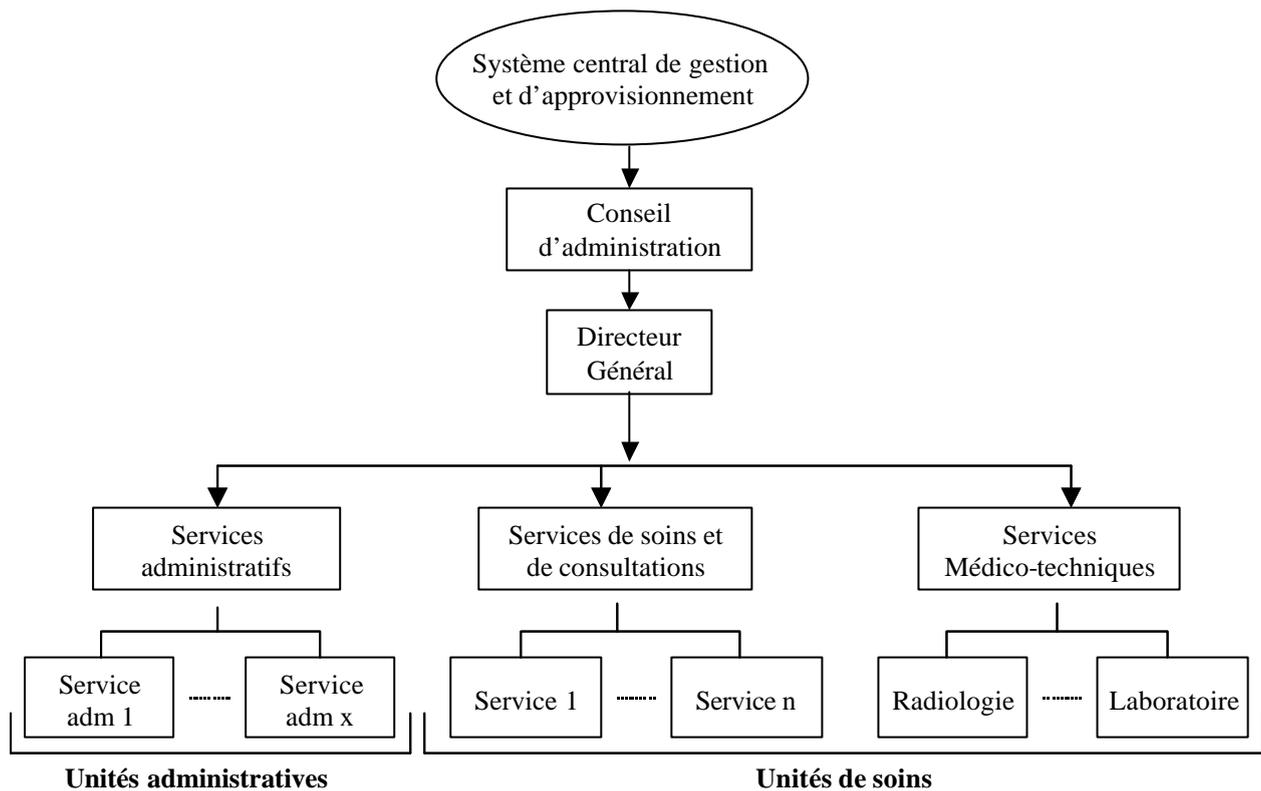


Figure 1 : Vision structurelle d'un système hospitalier [Combes, 1994]

L'hôpital est également organisé en centres de responsabilité qui peuvent être des centres médicaux, médico-techniques ou administratifs et qui sont dirigés par un responsable. Chaque centre de responsabilité est lui-même divisé en unités fonctionnelles. Une unité fonctionnelle réalise un type d'activité et est rattachée à un service. Ainsi, un centre de responsabilité est une unité de l'hôpital pouvant comporter une ou plusieurs activités sous une responsabilité unique avec une structure de fonctionnement qui lui est propre [Combes, 1994]. Cette décomposition en centres de responsabilité fournit ainsi une vision fonctionnelle des systèmes hospitaliers.

Moisdon et Tonneau [Moisdon et Tonneau, 1999] classifient la grande variété d'unités en plusieurs secteurs :

- **Les services cliniques** : c'est le lieu d'hébergement des patients. L'équipement de ces services est généralement faible (essentiellement des lits), sauf pour des unités dites de soins intensifs (réanimation par exemple). L'organisation du travail est liée aux pratiques des médecins. La visite de ces derniers est concentrée sur les matinées. Chaque service est dirigé par un médecin spécialisé.

- **Les consultations** : elles sont souvent incluses dans des services cliniques, au point d'être souvent difficilement séparables au niveau des ressources, et servent de filtre entre la demande du public et l'hôpital. Dans ce secteur, le service d'urgence a une place à part, puisque les malades viennent sans rendez-vous et relèvent en principe de soins immédiats. Comme les services cliniques, les consultations sont des unités peu technologiques sauf pour certains services d'urgence.

- **Le plateau technique** : il est constitué des unités où s'effectuent un certain nombre d'actes nécessitant des technologies importantes, soit thérapeutiques soit d'aide au diagnostic. Là aussi, les chefs de service sont des professionnels de la santé (médecins, pharmaciens, chirurgiens, etc.), ayant suivi un cursus de formation dans la spécialité correspondante. Ces unités travaillent pour les

services cliniques et les consultations, il s'agit d'une concentration et d'une collectivisation des équipements dues aux grands investissements induits par la technicisation de la médecine.

- **Le secteur logistique** : il prend en charge l'hébergement des malades et effectue un certain nombre de tâches à destination des unités précédemment décrites. Il s'agit essentiellement de la restauration et de la blanchisserie, activités pouvant parfois être sous-traitées, mais aussi du transport des malades, de consommables, d'examen, etc. Il est possible de classer dans ce secteur la pharmacie, lieu de stockage, de préparation et de distribution des produits médicamenteux qui pourrait appartenir à d'autres unités.

- **Le secteur administratif** : il est composé de la direction générale, du service financier, de celui du personnel, de l'économat, de l'informatique, etc. Le directeur de l'hôpital appartient à un corps d'administrateurs spécialisés. Ce n'est donc pas un médecin. Dans un CHR, l'équipe de direction est de quelques dizaines de personnes, nombre systématiquement faible par comparaison avec les entreprises industrielles de même importance.

2.3.2. *Quelques particularités de l'organisation de l'hôpital*

Plusieurs spécialistes de l'organisation se sont intéressés à l'institution hospitalière.

Mintzberg [Mintzberg, 1983] remarque que cette institution est caractérisée par une ligne opérationnelle hypertrophiée, confrontée à un management supérieur, une technostructure et un commandement intermédiaire faibles. Il la classe dans la catégorie des bureaucraties professionnelles, signifiant par cette dénomination sa stabilité, sinon son conservatisme. Le mode de coordination qui y règne se fonde sur la standardisation des qualifications, c'est-à-dire qu'un agent sait ce qu'il doit faire non pas par le commandement, ni par un service méthode, mais par un apprentissage préalable puis continu qui dépend pour l'essentiel de ses pairs. Mintzberg [Mintzberg, 1983] doute des possibilités de transformation de ce type d'organisation, en tout cas par des démarches qui ne viendraient pas des professionnels eux-mêmes. En d'autres termes, le pouvoir de la direction est faible, et se fonde uniquement sur le respect des règles administratives et budgétaires qui n'ont que peu d'influence sur l'activité.

Moison et Tonneau [Moison et Tonneau, 1999] caractérisent l'organisation hospitalière comme une organisation hétérogène et professionnelle. L'hétérogénéité découle de la grande diversité des activités de l'hôpital, relevant de différents métiers, chacun d'entre eux possédant ses logiques professionnelles propres, ses savoirs et ses savoir-faire. Cette hétérogénéité pose des problèmes de coordination. Par professionnalité, les auteurs entendent une organisation où l'activité de base est définie par ceux-là mêmes qui l'effectuent : les médecins. Moison et Tonneau [Moison et Tonneau, 1999] complètent cette description par le fait que cette organisation n'est pas maîtresse de ses ressources, qui lui sont fixées par la tutelle étatique, cette dernière ne faisant d'ailleurs que déterminer la dotation budgétaire, la rétribution effective de l'hôpital provenant des caisses de la Sécurité sociale.

En effet, la planification et le financement des établissements hospitaliers est de la responsabilité des services extérieurs régionaux du ministère des Affaires Sociales, les Directions Régionales des Affaires Sanitaires et Sociale (DRASS). La planification prend la forme d'un Schéma Régional de l'Organisation de soins (SROS), dont le but est de s'assurer que l'offre existante répond bien aux besoins de la population régionale. Le financement se fait par le biais d'une dotation globale annuelle de fonctionnement [Pouvourville, 1996]. Un tel système de financement différencie a priori sensiblement un hôpital d'une entreprise et place les directions hospitalières sous des

contraintes fortes renforcées par le statut du personnel qui représente en moyenne 70% des dépenses totales [Moisdon et Tonneau, 1999].

D'autres spécialistes des organisations mettent l'accent sur les mécanismes de pouvoir qu'une telle situation génère. Vassy et Renard [Vassy et Renard, 1992] décrivent notamment le mouvement général de spécialisation des différentes unités de l'hôpital comme une évolution favorable à la profession médicale, consolidant ainsi ses zones d'intervention autonome et de contrôle de l'incertitude, et échappant de plus en plus aux volontés de régulation et d'organisation exprimées par les niveaux administratifs.

Selon Pouvoirville [Pouvoirville, 1996], le système hospitalier présente toutes les caractéristiques d'un système centralisé hiérarchique, mais il n'en a pas les avantages : la contrôlabilité par les procédures requiert pour un secteur d'activités comportant autant d'établissements, des moyens que l'administration de la santé est loin d'avoir. L'autonomie des établissements s'apparente à une forme de décentralisation, mais là encore sans les avantages d'une décentralisation économique.

L'institution hospitalière est donc une organisation différente de celle des entreprises industrielles ou de services. D'une part, l'hôpital ne décide pas des tarifs qu'il pratique mais il se doit d'assurer des soins adaptés et de qualité au meilleur coût (coût / efficacité optimale). Ainsi, la maîtrise des prix de revient représente le seul vrai levier de commande et constitue donc un impératif. D'autre part, la spécialisation et la technicisation croissantes des prises en charge ont fait que peu de mécanismes nouveaux d'intégration sont apparus au cours des quinze dernières années, la dernière, dite de «départementalisation», ayant eu peu d'effets [Pouvoirville, 1996]. L'hôpital reste donc une organisation fortement cloisonnée défavorisant la coordination entre ses différents services, créant ainsi des dysfonctionnements liés aux interfaces.

Le fonctionnement de l'hôpital est abordé par une approche structurelle. En effet, l'organisation de l'hôpital est définie d'une façon dominante en suivant les lignes hiérarchiques et en adoptant une organisation par fonctions ou par activités, avec une division stricte des tâches [Tarondeau et Wright, 1995]. Toutefois, contrairement à la structure traditionnelle, le pouvoir de décision n'est pas réellement au sommet de la hiérarchie étant donné le poids des professionnels devant celui des administrateurs.

Par ailleurs, cette forme d'organisation, dite traditionnelle, obtient son niveau d'efficacité grâce à la division de la mission globale de l'organisation en une série de tâches confiées à des entités bien définies (des spécialistes, fonctions, etc.). Chaque employé est responsable d'un ensemble donné de tâches et des outils lui permettant de les réaliser. Le rôle du manager est de transmettre les ordres, d'attribuer les tâches et d'assurer la coordination entre les tâches ou les unités de travail de telle sorte que la somme des tâches individuelles forme un tout cohérent. Toutes les actions de coordination entre unités tendent à se retrouver au niveau hiérarchique supérieur à ces dernières.

Dans le cas de l'hôpital, la mission à réaliser est de mener à bien la prise en charge des patients ce qui peut nécessiter de passer par différents services et unités de soins. Ainsi, un mode d'organisation des activités et des opérations de façon transverse à la structure nous semble mieux approprié à la mission hospitalière parce qu'il favorise une coordination sans passage par les niveaux hiérarchiques. Nous prônons donc la mise en œuvre d'un fonctionnement par modélisation et analyse des processus [Domenc *et al.*, 1995].

2.4. Gestion hospitalière : définition, objectifs, composantes et difficultés

2.4.1. La notion de gestion hospitalière

Dans l'office de la langue française, la gestion est définie comme « *une mise en œuvre de tous les moyens humains et matériels pour atteindre les objectifs de l'entreprise* ». Dans notre cas il s'agit des objectifs de l'hôpital. Cette définition renvoie donc la gestion à la gestion des ressources.

La gestion hospitalière est basée sur des règles qui concourent au bon fonctionnement de l'hôpital permettant ainsi de satisfaire au mieux la demande de soins, d'assurer au patient une bonne qualité de soins, pour un coût maîtrisé. Lévy et Gauthier [Lévy *et al.*, 1977] [Gauthier *et al.*, 1979] distinguent deux catégories de règles concourant au bon fonctionnement de l'hôpital : les règles locales et les règles globales. Les règles locales sont spécifiques à une entité (par exemple une unité de soins) et ne font référence qu'à celle-ci. Elles concernent donc le bon fonctionnement interne de cette entité indépendamment du reste du système. Les règles globales portent au moins sur deux entités. Chaque service de soins possède ainsi ses propres règles de fonctionnement. Ces règles tendent à se différencier de plus en plus selon qu'il s'agit de services généraux, de services spécialisés ou hautement spécialisés.

Au cours des vingt dernières années, on a assisté à de multiples tentatives d'importation et d'adaptation à l'hôpital public de méthodes de gestion empruntées au monde de l'entreprise, et ceci dans le but de profiter de l'expérience gestionnaire dans ce domaine. Toutefois, une rationalisation dans l'allocation des ressources entre différents établissements de santé et une rationalisation du processus de prise en charge semblent constituer les bases pour une bonne gestion hospitalière. Une rationalisation dans l'allocation des ressources à un niveau régional (entre les différents établissements de soins) et interne (entre les différents services et unités de soins) conduit l'hôpital à répondre au mieux à la demande de soins. Une rationalisation du processus de prise en charge permet d'aller vers une gestion opérationnelle et introduit une dimension supplémentaire, celle de la répartition des ressources disponibles entre les différents types de prises en charge.

2.4.2. Rationalisation et équité dans l'allocation des ressources

La première étape de cette rationalisation a été la mise en place du mécanisme de dotation annuelle de fonctionnement, de façon à rendre responsable les établissements du respect d'un budget. L'inégalité de dotation entre les établissements a sans doute eu des effets contre-incitatifs en pénalisant plutôt des établissements dynamiques sur leur marché local de soins. D'où la naissance du projet de médicalisation du système d'information (PMSI). L'objectif de ce programme était d'implanter un outil pour la classification des malades hospitalisés donnée par la nomenclature des prestations hospitalières. L'activité d'un hôpital se mesure par la gamme des prises en charge qu'il offre et par le nombre de malades qui bénéficient de chaque prise en charge, identifiée par un groupe homogène de malades (GHM). A partir de cette nomenclature, et d'une connaissance des coûts liés à chacun des GHM, il est possible de construire une échelle des poids économiques relatifs à chaque prise en charge. Les ressources seront alors allouées proportionnellement à ces poids économiques. La dotation globale de fonctionnement devrait favoriser la maîtrise des dépenses hospitalières par leur mise sous enveloppe, mais aussi développer la responsabilisation des médecins et leur implication dans la gestion par la mise en place de centres de responsabilité et de budgets de services [Pouvourville, 1996].

Cette classification au sein de l'établissement de santé constitue une base pour résoudre, entre autres, certains problèmes liés au partage des ressources polyvalentes entre différents services.

Cependant, la rationalisation du processus de prise en charge nous semble un objectif plus ambitieux de la gestion hospitalière. En effet, la rationalisation de la prise en charge constitue un pré-requis d'une allocation de ressources équitable et d'un bon fonctionnement du milieu hospitalier.

2.4.3. Rationalisation du processus de prise en charge

L'objectif classique de la rationalisation d'un processus est de considérer le triptyque coût-qualité-délai. Le but se définit ainsi comme étant le meilleur arbitrage entre ces divers attributs. Dans le cas de la rationalisation de la prise en charge, Minvielle [Minvielle, 1996] souligne que le critère qualité domine les autres, étant donné sa liaison avec des critères primordiaux tels que la sécurité et le risque cliniques. C'est ainsi que la qualité relative au risque clinique s'impose au coût, au délai ou à d'autres critères comme les conditions de travail.

La question principale qui tourne autour de ce point est : comment peut-on rationaliser le processus de prise en charge du patient tout en tenant compte de l'aspect aléatoire inhérent à l'activité de soin ?

Comme l'évoque Midler [Midler, 1993] à propos d'un secteur autrement plus concerné par les démarches rationalisatrices que l'hôpital, l'automobile, tout dépend en fait de ce que l'on entend derrière le terme de rationalisation : il existe en effet une grande différence entre une vision traditionnelle, celle d'un Taylor par exemple, ou au contraire « une vision où l'incertitude, l'aléa et la coopération n'interviennent pas comme des facteurs résiduels mais comme des variables à intégrer ».

Ainsi, trouver des formes de rationalisation adaptées à la prise en charge, c'est intégrer dans cette réflexion le caractère humain, la singularité et l'incertitude qui lui sont associées, c'est aussi ne plus considérer l'aléa ou la diversité comme des facteurs résiduels mais comme des données à part entière [Minvielle, 1996]. Cet auteur propose d'emprunter à Strauss [Strauss, 1992] la notion de trajectoire afin d'exprimer la singularité du processus de prise en charge. L'image de la trajectoire a l'avantage d'illustrer la diversité des cas et le caractère imprévisible de leur déroulement. Elle permet également de véhiculer l'idée que le patient tient un rôle actif lors de son hospitalisation. Il faut reconnaître le patient comme un sujet autonome coproducteur, ou si l'on préfère auto-organisateur, de sa trajectoire.

Ce qui compte dans le déroulement de la trajectoire, c'est avant tout de ne pas faire d'erreur. C'est à dire de ne pas passer à côté d'un signe clinique significatif d'une maladie, de ne pas répéter un examen dangereux à cause d'un oubli, de ne pas non plus mettre en péril l'évolution clinique du patient pour des questions associées aux critères de coût et de délai ou autres. Cette qualité relative au risque clinique oriente le «but » à poursuivre. L'objectif est de minimiser ce risque autant que possible. Ceci ne signifie pas pour autant que les questions de délais ou de coûts soient absentes, car la trajectoire est une histoire où rien n'est reproductible. Le temps et les gaspillages ne se rattrapent pas. Il apparaît aussi important d'intégrer des critères de délai ou de coût, notamment dans le contexte de réduction des déficits de l'Etat et de la protection sociale, par la mise en œuvre de politiques visant au contrôle des dépenses ainsi qu'à l'amélioration de l'efficacité et de la productivité du secteur hospitalier.

Pour provoquer une rationalisation de la prise en charge, Crémadez [Crémadez, 1997] note qu'il est nécessaire d'adopter une méthode qui permette, tout en respectant la diversité des situations auxquelles un hôpital doit faire face, de trouver un nombre plus limité de processus opérationnels. Il

propose ainsi de passer par le concept « mode de prise en charge » qu'il définit comme la normalisation du processus (l'ensemble du parcours) que l'on fait suivre à un patient afin de satisfaire le besoin pour lequel il a eu recours à l'institution.

Par ailleurs, la diversité et les multiples imprévus dans le déroulement des trajectoires de patients nous amènent à réfléchir à la notion de flexibilité dans la gestion des institutions hospitalières. En effet, les deux raisons pour lesquelles une « entreprise » doit recourir à la flexibilité sont l'incertitude et la variabilité [Corréa, 1994].

2.4.4. Le système de gestion hospitalier interne

Le système de gestion hospitalier est un système complexe. Cette complexité découle de la complexité de l'activité hospitalière que nous détaillons ci-dessous dans le paragraphe 3.1 (Spécificités des services de soins). Par ailleurs, il s'agit d'un système de gestion en perpétuelle évolution. En effet, pendant les deux dernières décades, l'hôpital a dû subir des transformations significatives tant du point de vue organisationnel, dans son fonctionnement ainsi que dans ses stratégies de gestion, et ce, dans le cadre des réformes visant à améliorer l'efficacité et la productivité du secteur.

En fonction des différents secteurs d'activité de l'hôpital, nous pouvons recenser plusieurs types de gestion [Combes, 1994] :

- la gestion des services médicaux et médico-techniques,
- la gestion administrative des patients,
- la gestion générale du personnel,
- la gestion économique et financière.

Dans ce travail, nous nous intéressons particulièrement à la gestion des services médicaux et médico-techniques que nous abordons comme des systèmes de production de soins des centres hospitaliers.

2.5. Le système hospitalier dans d'autres pays industrialisés

Nous avons pensé qu'il serait aussi intéressant de voir comment s'organise le système hospitalier dans d'autres pays industrialisés. L'idée ici est de pouvoir positionner le système hospitalier en France par rapport à ces systèmes et tirer des enseignements à partir de l'expérience de ces pays en termes d'organisation et de restructuration hospitalière¹. En effet, les différents gouvernements coïncident vers la nécessité de mettre en œuvre des politiques visant le contrôle des dépenses ainsi que l'amélioration de l'efficacité et de la productivité du secteur hospitalier. En conséquence, les dernières années, on a vu une remise en question de l'institution hospitalière.

2.5.1. Le système hospitalier Néerlandais

La grande majorité des établissements de soins relèvent du secteur privé non lucratif et forment des fondations distinctes. Les autres appartiennent au secteur public. A l'exception des 9 hôpitaux, administrés et gérés par l'Etat, 90% des établissements de court séjour, 60% des établissements médicalisés pour personnes âgées et 90% des établissements psychiatriques sont privés [Landry et Beaulieu, 2000]. Cependant, l'Etat renforce sa présence par la voie de la planification dans un souci

¹ Nous ne détaillons pas dans cette partie les initiatives de restructuration hospitalière. Néanmoins, nous dirigeons le lecteur vers un article rédigé par Carmen SEIDEL à partir du mémoire de DEA « Systèmes des soins hospitaliers » (Paris VII – Lariboisière – Saint Louis) dans lequel ce point a été traité d'une façon détaillée.

de contrôler un éventuel dérapage qui mènerait une suroffre et un envol des prix. L'Etat se doit aussi de garantir aux citoyens un accès équitable aux soins.

2.5.2. *Le système hospitalier américain*

Le système de santé américain est un système pluraliste et fortement décentralisé. Les soins de santé sont fournis par une combinaison d'organismes publics ou privés, religieux ou séculiers, à but lucratif ou non lucratif. Certains sont indépendants, d'autres font partie de systèmes multiinstitutionnels. Depuis 1985, il y a eu une prolifération de systèmes à but lucratif dont les actions sont inscrites à la bourse. Certaines entreprises se concentrent dans un type de service ou d'installation, tels que les hôpitaux, les hôpitaux psychiatriques, les organismes de maintien de la santé² (HMO) ou réseau de soins coordonnés, etc. Beaucoup d'autres organismes privés à but lucratif ne sont pas inscrits à la bourse. En 1999, l'industrie des services médicaux est l'employeur le plus important [Landry et Beaulieu, 2000]. Pour rationaliser la dépense de santé, les assureurs privés et publics ont développé un partenariat avec les offreurs de soins dans le cadre de *Managed care organizations*. Ces organisations incitent les patients à recourir à des fournisseurs de soins « agréés » [Chambaretaud *et al.*, 2001].

Des caractéristiques souvent soulignées du système de santé américain sont le faible rôle de l'Etat dans la régulation du système et l'importance du secteur privé dans l'organisation hospitalière. Par ailleurs, contrairement aux pays de l'Union européenne, aux Etats-Unis, il n'est pas obligatoire, pour un citoyen, d'avoir une assurance maladie [Chambaretaud *et al.*, 2001].

3. Le système de production de soins

Les hôpitaux sont de véritables centres de production de services [Claveranne, 1995] : les soins offerts lors de la prise en charge des patients. Dans cette partie, nous proposons une caractérisation des systèmes de production de soins selon la typologie des systèmes de production de services décrite dans [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997], la plus récente à notre connaissance. Mais bien avant, nous présentons les spécificités des services de soins dont nous tiendrons compte dans la caractérisation de leur système de production.

3.1. Spécificités des services de soins

Les spécificités des services de soins se résument dans la complexité de ce service.

- Franchistéguy [Franchistéguy *et al.*, 1999] explique cette complexité par le fait que le support physique³ d'un système de soins est une personne. En effet, les patients jouent le rôle de cette entité dans les services de santé. La complexité est donc liée au caractère humain dont on peut rarement maîtriser ni anticiper les réactions dans le processus de prise en charge.
- Minvielle [Minvielle, 1996] renvoie la notion de complexité au processus de prise en charge du patient. Ainsi, il associe à la complexité de prise en charge, deux propriétés principales : une forte incertitude dans son déroulement, une diversité due aux caractéristiques cliniques et sociales du patient. Nous rajoutons à cette explication de la diversité, les différentes possibilités de traitements renforcées par la forte spécialisation et technicisation dans le secteur de santé.

² *Health Maintenance Organizations*.

³ Le support physique est, tel que défini par [Langeard et Eiglier, 1987], un support indispensable à la production du service qui est né de l'expression du besoin par un client.

Tout d'abord, contrairement aux productions industrielles de masse, il n'existe pas, dans le cas de la prise en charge des patients hospitalisés, de convergence vers un seul type de processus. Au contraire, l'analyse fait ressortir leur diversité. Les modes de prise en charge dépendent des pathologies en cause, mais aussi des caractéristiques personnelles des patients. Par ailleurs, chaque processus dessine une combinaison spécifique entre différentes phases d'investigation diagnostique, de début de traitement, de surveillance ou de bilan dont certaines peuvent atteindre des degrés de complexité importants alors que d'autres conservent un profil relativement simple.

A cette diversité, s'associe une variabilité du processus de prise en charge. Plusieurs facteurs sont en effet susceptibles de remettre en cause le plan d'action conçu initialement : les caractéristiques cliniques, le comportement du malade, les conditions de l'environnement et les modes d'organisation du travail où chacun de ces facteurs est sujet à d'importantes variations dans le temps.

En même temps, il ne faut pas perdre de vue que la maîtrise des délais constitue un objectif important de la rationalisation de ce processus.

La solution consiste, d'une part, à admettre de traiter à « grande échelle » l'ensemble des processus pour assurer leur déroulement dans des délais raisonnables et, d'autre part, à prendre en compte la singularité de chaque cas, qui s'exprime à travers les notions de diversité et d'incertitude.

Crémadez [Crémadez, 1997] propose d'organiser la diversité des processus de prise en charge en « mode de prise en charge » par la standardisation des procédures⁴ (voir figure 2). L'objectif de transformer un processus en un mode de prise en charge est de dégager la logique de fonctionnement permettant d'optimiser la prise en charge. Un mode de prise en charge est en quelque sorte un processus épuré des particularités liées à un domaine de soins précis.

L'analyse des processus est le moyen permettant de standardiser les processus de prise en charge dans le milieu hospitalier. Cependant, l'application systématique de l'analyse des processus à toutes les activités hospitalières représente une masse de travail énorme au regard de la disponibilité et de la culture des soignants d'une part, des ressources mobilisables au niveau de la technostucture d'autre part. Par exemple, les médecins sont souvent hostiles à la formalisation qui leur apparaît comme une tâche subalterne et un facteur de restriction de leur liberté d'action [Crémadez, 1997].

⁴ Une normalisation du processus par la définition de mode de prise en charge, parcours de soins que l'on fait suivre à un patient afin de satisfaire le besoin pour lequel il a eu recours à l'institution.

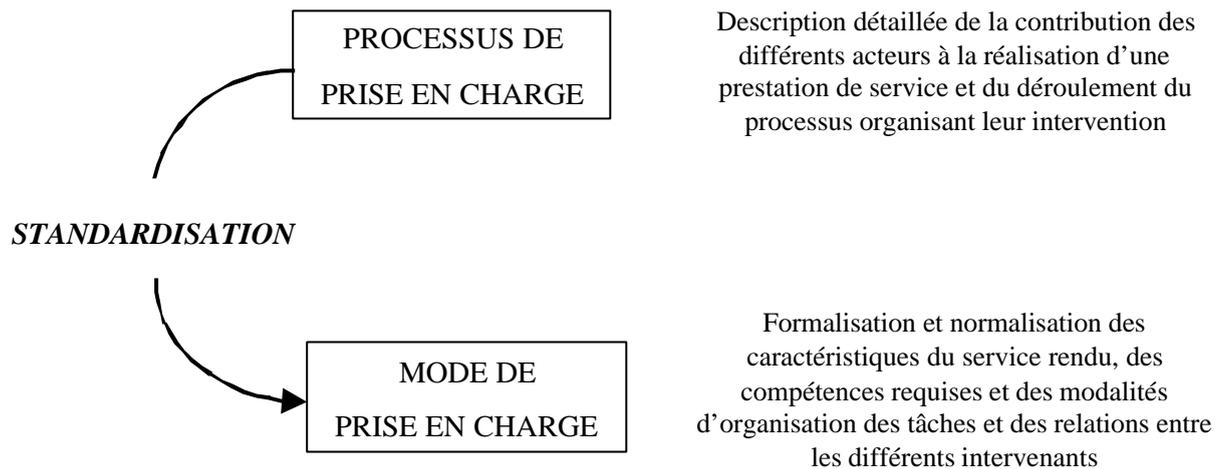


Figure 2 : Du processus au mode de prise en charge [Crémadez, 1997]

Pour jouer sur des effets de productivité classique, un volume d'actes réalisé dans un minimum de temps, l'organisation a intérêt à privilégier la rapidité d'exécution des tâches à accomplir. Il nous semble que la standardisation des processus de prise en charge est un pré-requis sans lequel les objectifs de productivité du système de soins ne peuvent être atteints puisqu'elle représente le moyen permettant de formaliser les tâches et leur organisation [Crémadez, 1997]. Mais parallèlement, il faut prendre en compte la singularité par l'adaptation du « mode de prise en charge » à la contingence de chaque cas. La prise en compte de la singularité suppose ainsi de savoir coordonner la multiplicité des actions dues à une gestion simultanée de plusieurs processus situés à des phases différentes. Elle suppose également de savoir réagir aux nombreux aléas qui viennent entraver le déroulement normal des processus.

3.2. Caractérisation du système de production de soins

3.2.1. Composantes d'un système de production de services

Chase [Chase, 1978] subdivise un système de production de services en deux sous-systèmes :

- Le «*front office*» : sous-système de production dans lequel les opérations de production sont réalisées par des employés en contact avec le client ou par le client lui-même.
- Le «*back office*» : sous-système de production dans lequel les opérations sont réalisées sans la présence du client.

Bancel-Charensol et Jougleux [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997] caractérisent un système de production de services par quatre éléments :

- Les cibles : il s'agit des cibles de transformations opérées ou ce sur quoi travaille le système de production. Elles se décomposent dans le cas des services en cibles matérielles, immatérielles et/ou humaines.
- Les ressources : il s'agit des ressources mobilisées dans les opérations de transformation. Elles renvoient, comme dans un système de production industriel, aux équipements, aux locaux, aux opérateurs (compétences, savoir-faire...), aux informations, aux méthodes de production utilisées, aux procédures ...
- Les tâches : il s'agit des tâches réalisées dans les services, même celles pouvant être effectuées par le client.
- Le système de pilotage de la production : il s'agit plutôt des objectifs assignés au système de production et des procédures mises en œuvre pour les atteindre. Certains objectifs renvoient à

ceux fréquemment utilisés dans l'industrie (coûts, délais de production, utilisation optimale des ressources...).

3.2.2. Typologie des systèmes de production de services

Bancel-Charensol et Jougleux [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997] se sont basés sur ces quatre éléments pour proposer une typologie des systèmes de production de services, la plus récente à notre connaissance. Les auteurs distinguent cinq types de systèmes de production de services :

- Le système de production de services « technique »,
- Le système de production de services « relationnel »,
- Le système de production de services « technique et relationnel »,
- Le système de production de services « à ressource client technique »,
- Le système de production de services « interactif ».

Bien que la classification des systèmes de production de biens [Hatchuel et Sardas, 1992] et de services [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997] se basent sur un ensemble d'éléments similaires, les typologies obtenues sont différentes et démarquent clairement les deux types de systèmes [Limam, 1999]. La particularité de la production de services est de voir apparaître l'individu comme cible potentielle. Cependant, le système de production dans les services peut travailler de manière simultanée ou séquentielle sur plusieurs cibles de nature différentes. Ainsi, cette classification distingue entre des systèmes de production de services à cible unique ou à cibles multiples. Une autre particularité dans les services est que le client peut être une ressource mobilisatrice indépendamment du caractère éventuel de la cible.

3.2.3. Caractérisation du système de production de soins

Nous proposons ici d'appliquer la caractérisation des systèmes de production de services donnée dans [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997] au système de production de soins. Il est donc question de définir les cibles, les ressources, les tâches et le système de pilotage de la production dans le système hospitalier. Mais bien avant, nous nous interrogerons déjà sur le *back* et le *front office* dans un tel système. Pour répondre à ces questions, il semble important de préciser les notions de produit, client et fournisseur.

- Franchistéguy [Franchistéguy *et al.*, 1999] affirme que ces notions sont difficilement identifiables de manière unique et catégorique dans le cas des services de soins. Il est difficile de dire que le malade est le « client » indiscutable, il n'est en tous les cas pas le seul. En effet, le patient est demandeur d'un soin (sauf au cas où le patient a perdu connaissance), d'un service, d'une prise en charge. Mais, les tutelles, la société, prennent également part au financement des dépenses de santé engendrées par ce patient. On peut alors se demander : qui est le client ou quels sont les clients ? La personne qui exprime un besoin ou bien l'entité ou les entités économiques qui supportent les frais ou bien les deux ? De plus, la généralisation du fonctionnement en réseaux multiplie les relations de type « client-fournisseur ».
- Quelques auteurs évoquent le patient comme un sujet coproducteur dans les services de production de soins. Selon Franchistéguy [Franchistéguy *et al.*, 1999], le patient participe au processus de production de manière plus au moins active, certes « matière première » en cours de transformation, mais possédant aussi des caractéristiques physiologiques, psychologiques et des réactions qui lui sont propres et qui peuvent influencer sa prise en charge. Minvielle [Minvielle, 1996] note que le patient tient un rôle actif lors de son hospitalisation dans la mesure

où la prise en charge porte généralement la signature du patient. Ainsi, dans cette optique le patient apparaît comme un sujet autonome coproducteur et auto-organisateur de sa trajectoire.

Ainsi, d'un point de vue gestionnaire, les notions de *front* et *back office* ne sont pas identifiables dans le cas des services de soins étant donné que les notions de client, produit et fournisseur ne le sont pas. Toutefois, une caractérisation des systèmes de production de soins nécessite de préciser ces notions.

D'un point de vue «producticien», nous proposons de considérer le patient comme «matière en cours de transformation» dans la production de soins. Toutefois, nous appelons à ne pas ignorer les différents aspects humains du patient en les appréhendant comme des aléas du système de production de soins. Ainsi, nous considérons que le *back office*, dans les systèmes de production de soins, se limite aux analyses ou aux tâches logistiques et administratives tandis que le *front office* est un *front office* de production de soins où le patient est considéré comme «matière en cours de transformation» dans le processus de prise en charge, en d'autres termes comme cible, notion que nous approfondissons dans ce qui suit.

- **Cible** : la cible principale mise en œuvre par l'hôpital est une cible fortement humaine : le patient. Ainsi, l'incertitude générée par la caractéristique humaine de la cible semble fondamentale dans des interrogations sur la conception et la gestion des systèmes de production de soins car elle a des répercussions sur la complexité des opérations de production, sur leur durée, sur leur qualité. L'évaluation des performances du système de production est ainsi beaucoup plus délicate. De ce fait, les seuls indicateurs de performances restent le nombre d'entrées, le taux d'occupation des services, la durée de séjour et le prix de revient de la journée par grande spécialité. Il n'existe pas non plus de moyens autres que la vérification de la conformité des installations et des qualifications du personnel, pour mesurer la qualité du service rendu au patient [Pourvoirville, 1996]. Cependant la cible peut différer d'un service à l'autre. Par exemple, quand il s'agit d'un laboratoire d'analyse, la cible peut être le sang et là, à notre sens, il s'agit plutôt d'une cible matérielle.

- **Ressources** : les ressources mobilisées par le système de production de soins sont similaires à celles du système de production industriel lorsqu'il s'agit d'équipements de soins, de plateaux techniques, de locaux, de lits, de médicaments, d'équipements classiques de la bureautique (ordinateur, impression, fax, téléphone, etc.), de moyens de transport (ambulance, civière etc.),... Toutefois, d'autres ressources sont spécifiques à ce système de production surtout s'il s'agit d'un service supposant un contact fort avec le patient. En dehors du personnel médical et paramédical : médecins chef de services, médecins praticiens, internes, étudiants en médecine, sages-femmes, infirmières, aides-soignantes, nous trouvons du personnel médico-technique : manipulateurs radio, techniciens laboratoire, agents hospitaliers (entretien des lieux, transport) et du personnel administratif.

- **Tâches** : il s'agit des opérations de soins et des activités administratives.

- Les opérations de soins sont diverses, relèvent de multiples métiers, chacun d'entre eux possédant ses logiques professionnelles propres, ses savoirs et savoir-faire. Ce caractère des activités de soins pose des problèmes quant à la coordination des différents acteurs qui y interviennent. La prise en charge d'un patient est composée de différentes opérations de soins, pouvant être effectuées au sein de différents services ;
- Les activités administratives sont telles que la comptabilité, la gestion des dossiers de patients,...

- **Système de pilotage de la production** : il est composé des objectifs assignés au système de production et des procédures mises en œuvre pour les atteindre. Dans le cas de l'hôpital, il faut

assigner un système de pilotage englobant les différents services et gérant les problèmes de dysfonctionnement liés aux interfaces. A notre sens, il faudrait commencer par préciser le système de pilotage pour chaque service, ensuite mettre en commun ces systèmes de manière à gérer les problèmes d'interfaces entre les différents services.

L'objectif du système de production de soins est d'améliorer son efficacité et la qualité du service rendu : une meilleure utilisation des ressources, une diminution des temps de séjour, une réaction aux problèmes d'absence du personnel, une réaction face à une augmentation de la charge...

Cette caractérisation confirme bien que les systèmes de production de soins sont de type « technique et relationnel » selon la classification de [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997] :

- Le *front office* : il s'agit d'un *front office* de production (soigner le patient) où le patient est considéré comme cible principale,
- Le *back office* : il se limite aux tâches logistiques, administratives, aux analyses, ...
- Les cibles sont hétérogènes : coexistence de cibles humaines (les patients) et de cibles matérielles (par exemple le sang).

Il en découle que la qualité du service de soins dépend des performances associées aux différents processus de production et de leur articulation en vue d'une performance globale. La complexité qui en résulte peut être accrue par l'interdépendance des processus (dépendance temporelle, spatiale ou liée au partage éventuel des ressources), accrue par la diversité de la demande. L'incertitude est liée essentiellement au caractère humain de la cible : le patient. Cette incertitude amène aussi à complexifier le système de production (augmentation du nombre de transformations sur les cibles, adaptation du *front office*...) pour faire face à la diversité de la clientèle [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997].

3.3. Comment considérer le système de production de soins ?

Malgré la singularité du service de soins [Minvielle, 1996], différents auteurs, s'intéressant à ce système, incitent à adopter une approche mixte⁵ pour l'étude de ce système de production par l'intégration d'outils et de méthodes qui ont fait leur preuve dans l'industrie, afin d'améliorer la production de soins ce qui dans notre cas signifie accroître la performance du système de soins tout en privilégiant la satisfaction individuelle des patients aussi bien que celle du personnel. Cependant, cette démarche doit être minutieuse et tenir compte des spécificités des services de soins.

Par exemple, Franchistéguy [Franchistéguy *et al.*, 1999], en étudiant le cas d'une prise en charge des patients pour une pathologie particulière dans un centre hospitalier, prônent l'intégration de méthodes telles que l'analyse de la valeur, l'ingénierie concourante, l'intégration des approches par processus et réseau afin de permettre, en particulier, d'éliminer les dysfonctionnements liés aux interfaces, et de faciliter la coordination entre les différents acteurs tout en tenant compte des spécificités inhérentes au secteur de santé.

Un autre exemple est celui de l'hôpital européen George Pompidou décrit dans [Mahé, 1997] et dans lequel est révélée une conception de l'hôpital qui rappelle celle de l'industrie, puisqu'on y retrouve une organisation par pôles d'activités, les concepts de juste à temps, d'optimisation des flux de personnes et des matières optimisées en termes de coût et de délai de livraison, d'automatisation ..., tout en considérant la spécificité du secteur des services. En effet, les

⁵ Il s'agit d'une approche qui incite à l'application dans la production des services de méthodes issues du monde industriel tout en tenant compte des facteurs spécifiques des services étudiés.

promoteurs affirment s'être inspirés de la grande distribution, des grossistes répartiteurs pharmaceutiques et de la restauration aérienne, de type Servair, pour le respect de la chaîne de froid.

3.4. Les notions de flux, classes de patients, de gamme et de nomenclature dans les systèmes de production de soins

3.4.1. Analyse des flux dans l'hôpital

Le flux principal qui sollicite les services d'un hôpital est un flux de patients. Ainsi, la notion de flux dans les systèmes de production de soins s'associe à la notion de processus de prise en charge. Par ailleurs, le séjour du patient dans un hôpital induit de nombreux flux (informationnels, financiers et humains). Il consomme également certains flux de matières (produits pharmaceutiques par exemple) et immobilise des ressources aussi bien humaines que matérielles.

La particularité de ces flux réside dans leur aspect aléatoire vu que le traitement du patient ne peut être déterminé d'une façon déterministe. En effet, un ensemble de traitements à suivre par le patient sont prévus mais qui ne peuvent être confirmés qu'au fur et à mesure de l'évolution de ce patient dans le système. Ainsi l'analyse du processus de prise en charge révèle les problèmes suivants :

- tant que le traitement en cours n'est pas terminé, on ne connaît pas de manière certaine le traitement qui suit,
- il peut exister des contraintes de précédence entre les opérations élémentaires,
- la liste des traitements est généralement longue.

Ce qui explique pourquoi on ne connaît pas de façon certaine le cheminement des patients dans le système hospitalier. Toutefois, avec la standardisation des protocoles thérapeutiques et la classification des patients, la prévision du processus de soins à suivre par le patient doit s'améliorer. Désormais, cette prévision est d'autant plus précise que les critères sur lesquels est élaborée la classification des patients sont pertinents.

3.4.2. Classification des patients

Fetter et Freeman [Fetter et Freeman, 1986] ont proposé une classification des patients en groupes dits DRGs⁶ (Diagnostic-related groups) à partir du diagnostic principal, en fonction des soins que les patients sont susceptibles de recevoir. Chaque groupe de patients utilise les mêmes ressources, reçoit le même «paquet» de soins aussi bien dans le diagnostic que dans le traitement. Les auteurs affirment que cette classification des patients en DRGs a permis d'introduire le concept de « produit » et de « ligne de produit » dans la réflexion gestionnaire de l'hôpital. Cette classification, initialement conçue par Medicare dans un objectif purement financier, est devenue au fil des années un concept sur lequel se fonde la réingénierie des systèmes hospitaliers [Roth et Dierdonck, 1995]. Les auteurs montrent qu'une adaptation de la méthode MRP ou MRPII dans le milieu hospitalier est possible grâce à la classification des patients en DRGs tout en tenant compte des particularités de la production de soins.

Kusters et Groot [Kusters et Groot, 1996] notent que la classification en DRGs telle que définie dans [Nederstigt, 1985] (la classification en DRGs adoptée dans les Pays-Bas) se base sur des informations qui ne sont disponibles qu'après admission du patient. Ainsi, cette classification ne

⁶ Les bases de la classification en DRGs ont été adoptées pour établir une classification des patients dans plusieurs systèmes de soins dans le monde. En France par exemple, on parle de groupes homogènes de malades.

permet pas de faire des prévisions sur le processus de soins à suivre par le patient avant son admission. Les auteurs proposent de classer les patients en se basant sur le diagnostic préliminaire, la procédure chirurgicale (classification internationale des procédures chirurgicales), l'âge du patient et son sexe.

Ainsi, il semble important de préciser les différents critères permettant d'établir la classification des patients en fonction des objectifs attendus. Faut-il penser à tenir compte de « l'aspect aléatoire » de la classification du patient, hérité de l'aspect aléatoire qui accompagne son évolution dans le système de soins ? Ainsi, à notre sens, il est incontournable de construire une prévision autour du processus de soins à suivre par le patient et ce, en fonction de critères pertinents devant être disponibles à l'instant de cette prévision. Toutefois, toute évolution imprévue du patient dans le système de soins doit déclencher la mise à jour de cette prévision. Ainsi, il n'est pas obligatoire, après le diagnostic final du patient, de l'affecter à la classe de patients qui lui a été affectée initialement. Nous estimons une occurrence rare de ce dernier cas, en nous basant sur des critères pertinents dans la classification des patients, notamment les cas programmés. En effet, il semble plus difficile de prévoir le processus de prise en charge d'un patient admis en urgence étant donné que son diagnostic est établi après son admission [Kuster et Groot, 1996].

La prévision du processus de soins à suivre par le patient est très importante puisqu'elle doit permettre de définir les différentes ressources matérielles et humaines nécessaires à sa prise en charge.

3.4.3. La notion de gamme et de nomenclature dans le système hospitalier

Il est important de préciser les notions de nomenclature, de gamme et d'opération de soins lorsque nous abordons les systèmes de production de soins.

Combes [Combes, 1994] considère que chaque patient est une entité unique dans le système hospitalier, deux patients souffrant de la même pathologie ne subiront pas forcément les mêmes opérations de soins parce que leur état de santé n'évoluera pas de la même façon. Ainsi, contrairement aux systèmes de production de biens, les notions de gammes et de nomenclatures n'apparaissent pas dans les systèmes hospitaliers [Combes, 2001].

Toutefois, Pouvourville [Pouvourville, 1996] évoque la notion de nomenclature et de gamme. Des nomenclatures de prestations hospitalières et des gammes de prises en charge sont établies dans le but de construire une échelle de poids économiques relatifs à chaque prise en charge. La nomenclature tient compte des maladies traitées et des traitements mis en œuvre, la gamme permet de mesurer l'activité d'un hôpital, identifiée par un groupe homogène de malades.

Roth et Dierdonck [Roth et Dierdonck, 1995] précisent que les ressources critiques dans les systèmes de production de soins élargissent la notion de nomenclature de matières (celle qu'on retrouve dans les systèmes de production de biens) à une nomenclature de ressources. Ainsi la nomenclature dans la production de soins englobe matières (par exemple médicaments), équipements, soins infirmiers, soins médicaux, etc. Les auteurs évoquent, par ailleurs, l'aspect stochastique de cette nomenclature de ressources qui ne peut pas être fixée avec certitude pour un DRG. Néanmoins, les patients appartenant à un même DRG, consomment un ensemble de ressources communes durant leur hospitalisation avec des probabilités connues.

Par ailleurs, les auteurs notent que le processus de production de soins ressemble à un processus de construction de projet. Ils emploient le terme «*étape de traitement*»⁷ pour désigner les jalons importants dans le processus de prise en charge du patient. A chaque étape de traitement correspond une utilisation de ressources. Dans la figure 3, nous représentons un squelette de nomenclature de ressources proposé par les auteurs pour le DRG 111 (Aneurysm). A chaque étape de traitement i (P_i) est associé un vecteur de ressources matérielles (M_i) et les ressources à capacité utilisée (C_i).

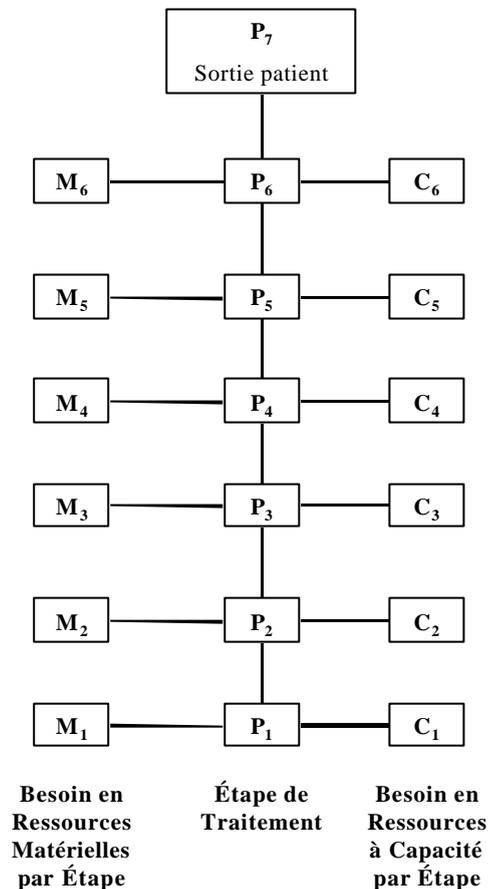


Figure 3 : Squelette de la nomenclature de ressources correspondant au DRG 111 [Roth et Dierdonck, 1995]

Dans cette étude, nous adoptons la notion de nomenclature de ressources telle qu'elle a été définie dans [Roth et Dierdonck, 1995]. Ce choix est justifié par l'intérêt qu'il y a à rapprocher système de production de soins et système de production de biens permettant ainsi de transposer différentes méthodes et outils déjà utilisés dans la gestion des systèmes de production de biens aux systèmes de production de soins.

De façon analogue aux systèmes de production de biens, nous considérons ainsi une gamme dans un système de production de soins comme étant un ensemble ordonné d'opérations de soins constituant la prise en charge du patient ou une étape de celle-ci. Par ailleurs, une opération de soins désigne en réalité un protocole thérapeutique. Tout protocole de soins est précis et met en jeu de diverses manières le personnel, les locaux, le matériel, etc. Il ne s'applique cependant pas forcément de manière totalement automatique, dans la mesure où les patients ont tous leurs spécificités. Toutefois, nous supposons connaître avec précision, pour chaque protocole thérapeutique, les ressources utilisées, les contraintes qui s'exercent, de même que les règlements en vigueur à prendre

⁷ *Treatment staging.*

en compte. La disposition de ces données nécessite de mener un recensement des pratiques dans les services concernés par pathologie.

L'aspect aléatoire inhérent au caractère humain de la cible, fait qu'un patient peut être susceptible de suivre un ensemble de gammes de soins avec différentes probabilités [Jebali *et al.*, 2001]. Dans ce cas, la gamme la plus probable sera retenue.

La figure 4 montre que la classification des patients en groupes ayant besoin des mêmes nomenclatures de ressources, recevant les mêmes opérations et gammes de soins, constitue le point où peuvent se rencontrer système de production de biens et de soins.

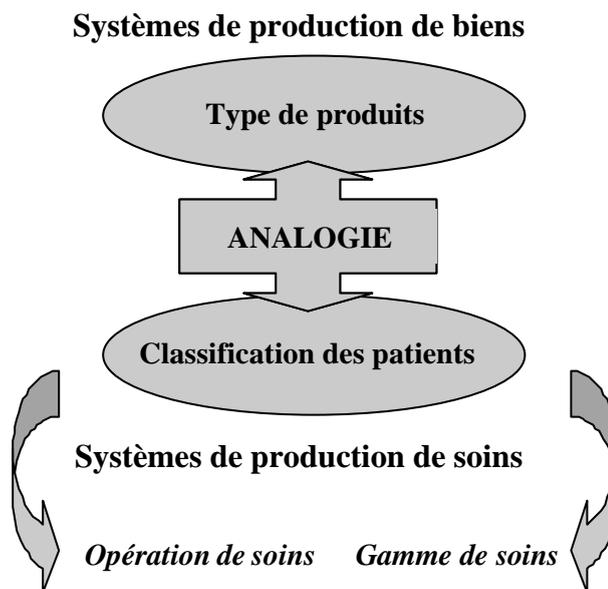


Figure 4 : Classification des patients : un point de rencontre entre système de production de biens et système de production de soins

4. Conclusion

Au cours de ce premier chapitre, nous avons présenté le milieu hospitalier en mettant l'accent sur ses particularités organisationnelles et les différentes tentatives de rationalisation par intégration de la gestion à l'activité de soins. Nous avons ensuite abordé les systèmes de production de soins des centres hospitaliers auxquels nous nous intéressons particulièrement dans ce travail. Nous avons soulevé les spécificités de ces systèmes par rapport aux systèmes de production de biens. Désormais, une « bonne » classification des patients peut constituer un point de rencontre entre ces deux systèmes. Toutefois, il ne faut pas ignorer certaines spécificités du système de production de soins liées à l'aspect humain de la cible : le patient.

Le système de production de soins est confronté à des problèmes aussi bien en phase de conception qu'en phase de fonctionnement et qui sont principalement relatifs au dimensionnement des différents services, à l'agencement des ressources matérielles (disposition des salles les unes par rapport aux autres afin de minimiser les déplacements du personnel soignant, par exemple), à la prévision de la charge du système, à l'étude du fonctionnement afin de détecter d'éventuelles anomalies ou dysfonctionnements, à l'amélioration de l'efficacité afin d'augmenter la qualité des services rendus : meilleure utilisation des ressources, diminution des temps de séjour, à l'étude de

nouvelles politiques de gestion et de nouveaux modes d'organisation, à l'analyse de la réactivité du système face à une augmentation imprévue de sa charge (arrivées de cas urgents).

Nous nous intéressons particulièrement au problème de la planification et de l'affectation des ressources dans les systèmes de soins. Toutefois, ce problème est fortement corrélé à d'autres problèmes cités ci-dessus. Par exemple, la planification peut inclure l'exploration de nouvelles stratégies, dans l'optique d'améliorer l'efficacité du système de soins (minimiser l'attente des patients).

Dans le deuxième chapitre, il s'agira de présenter un état de l'art des travaux qui ont étudié certains aspects du problème de la planification et de l'affectation des ressources dans les systèmes de soins.

Chapitre 2 : La gestion hospitalière en termes de planification et d'affectation de ressources

Dans ce chapitre, nous présentons un état de l'art portant sur les travaux qui ont étudié certains aspects du problème de la planification, de l'affectation et de l'ordonnancement de ressources dans les systèmes hospitaliers. A l'issue de cette revue de la littérature, nous exposons l'approche que nous proposons en vue d'aborder ce problème.

1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons examiné les particularités de l'environnement hospitalier en termes d'organisation et de gestion. Nous avons noté la présence dominante d'une culture médicale. Cette culture est à l'origine des effets de pouvoirs des professionnels devant les administrateurs. Toutefois, les tentatives pour intégrer et faire reconnaître la fonction gestionnaire dans l'hôpital ne cessent de se renforcer, notamment ces dernières années qui ont vu l'établissement hospitalier de plus en plus soumis à des pressions de la part des tutelles pour qu'il réduise ses coûts et gère mieux ses ressources. Par ailleurs, nous avons montré que les systèmes de production de soins sont des systèmes complexes soumis à des phénomènes aléatoires. Une comparaison entre ces systèmes et ceux de production de biens semble toujours envisageable sans pour autant ignorer les différences entre les deux types de systèmes.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'un des problèmes de ce système : la planification et l'affectation des ressources. Il s'agit d'un problème d'une grande importance dans un contexte de raréfaction des ressources, d'une qualité des soins garantie et d'une optimisation des coûts. Ainsi, le milieu hospitalier montre de plus en plus un besoin de disposer d'outils d'aide à la planification et à l'affectation de ses ressources.

Nous consacrons la première partie de ce chapitre à l'étude du problème dans les systèmes de production de soins. Ensuite, nous présentons un état de l'art portant sur les travaux qui ont abordé certains aspects du problème de la planification et de l'affectation de ressources en milieu hospitalier. L'objectif est de recenser les différentes approches, modèles et techniques qui ont été adoptés pour la résolution de ce problème. Sur la base de cette revue de la littérature, nous prôtons l'utilisation d'une approche « processus » pour la planification et l'affectation des ressources dans les systèmes de production de soins. Enfin, ce chapitre s'achèvera sur l'illustration de cette approche sur le cas d'étude retenu : un processus de soins incluant la chirurgie. Ce cas servira d'application à l'ensemble des travaux présentés dans ce rapport.

2. Le problème de la planification et de l'affectation de ressources dans les systèmes de production de soins

2.1. Présentation du problème

La planification est un instrument de gestion dont l'objectif est de définir des plans d'exploitation des ressources et donc d'élaborer de nouvelles politiques de gestion et de pilotage.

L'affectation de ressources a pour objectif de répartir et de mettre en œuvre les ressources au sein des secteurs et des branches du système de production.

Pelletier [Pelletier, 1999] considère la planification comme un instrument de gestion dont l'objectif est d'aider les responsables à prendre des décisions sur une base rationnelle, englobant l'organisation des services de production et la répartition équitable de l'ensemble des ressources. L'auteur souligne le rôle de rationalisation associé à un outil de planification. Par ailleurs, cette définition laisse entendre que la planification sous-entend l'affectation des ressources.

Cependant, la planification reste un outil récemment appliqué au domaine de la santé, et sa définition n'est pas encore figée ni unique ; elle varie selon les acteurs impliqués. Elle peut aussi bien signifier un processus d'action en santé publique, qu'une méthode de résolution de problème, ou bien encore qu'un moyen de régulation ou de maîtrise des dépenses [Frossard et Jourdain, 1997].

Les différences dans ces définitions résident dans l'objectif poursuivi pour atteindre le résultat souhaité.

2.2. Une typologie des systèmes de planification et d'affectation de ressources en milieu hospitalier

Nous distinguons deux grands niveaux dans la planification et l'affectation de ressources en milieu hospitalier : une planification au niveau régional, dite planification sanitaire régionale, et une planification au niveau interne de l'établissement hospitalier.

- La planification sanitaire régionale consiste à répartir dans l'espace régional les ressources sanitaires rares (équipements lourds, personnel, ...) entre différentes structures sanitaires existantes ou non, afin « d'optimiser » la réponse aux besoins en soins de la population régionale [Pelletier, 1999]. Il s'agit de sélectionner, dans le plan défini par la Région, un certain nombre de sites sur lesquels des services hospitaliers sont implantés. Parallèlement à cette sélection, la taille de chacun de ces services est évaluée en termes de ressources allouées et de nombre de patients pouvant être potentiellement pris en charge dans ces services. Ces choix de localisation de services et d'allocation de ressources s'effectuent dans un contexte de ressources disponibles en volume limité [Culyer, 1990]. Il est rare que ce volume suffise à couvrir tous les besoins d'une population. Il s'agit donc, pour les méthodes d'aide à la planification sanitaire, d'assister le décideur dans l'élaboration du plan, afin que ce dernier satisfasse au mieux les besoins en soins de la population régionale et que ces décisions viennent s'inscrire dans la politique sociale, économique et d'aménagement du territoire de la Région. Flagle et Young [Flagle et Young, 1966] reconnaissent la recherche opérationnelle comme la technique adaptée à l'étude de la planification régionale de soins. Shuman [Shuman *et al.*, 1974] présente une revue de la littérature des travaux où les techniques de la recherche opérationnelle (programmation en nombres entiers, programmation dynamique, ...) ont été utilisées pour traiter ce problème.
- La planification et l'affectation de ressources à l'hôpital consiste à estimer le besoin en ressources nécessaires pour un système de production de soins au sein de l'hôpital, à affecter certaines ressources entre les différentes unités de soins (comme par exemple l'affectation des lits d'hospitalisation aux différents services), à établir des plans d'exploitation des ressources afin de satisfaire la demande de soins.

Les deux niveaux de planification, même traités de façon indépendante, sont communicants puisque la planification interne de l'hôpital est conditionnée par les ressources allouées au niveau régional.

Dans cette étude, nous nous intéressons au problème de la planification et de l'affectation des ressources à l'hôpital.

La planification des systèmes hospitaliers porte généralement sur trois niveaux hiérarchiques de la décision [Roth et Dierdonck, 1995] :

- la planification stratégique ou à long terme : elle permet de déterminer en fonction de plusieurs tendances et évolutions (démographiques, sociologiques, techniques, etc.) l'évolution de l'hôpital.
- la planification tactique ou à moyen terme : elle consiste à établir des prévisions sur la demande de soins, à planifier les admissions, à estimer les besoins en ressources humaines, matérielles et financières de l'hôpital pour différentes saisonnalités permettant de satisfaire la demande.

- la planification opérationnelle ou à court terme : elle considère les problèmes d'affectation des patients aux services et d'affectation ; ordonnancement et séquençement des ressources.

Nous nous intéressons à la planification et à l'affectation de ressources à court et à moyen terme. Plus précisément nous pensons à la planification des admissions qui peut s'étendre sur un horizon moyen terme et à l'affectation, ordonnancement et séquençement des ressources afin de satisfaire un besoin à court terme. Pour tenir compte de certains aspects aléatoires pouvant perturber les décisions prévisionnelles dans le système de production de soins, nous proposons de rajouter un quatrième niveau hiérarchique : une décision en temps-réel. Ce quatrième niveau a comme objectif d'aider le système de production de soins à réagir devant des aléas très importants, nécessitant de repenser la décision prévisionnelle.

La planification et l'affectation de ressources doivent satisfaire les objectifs du système de production de soins. Les objectifs couramment évoqués dans la littérature sont la minimisation des coûts, la maximisation de l'utilisation de certaines ressources matérielles ainsi que la maximisation de l'emploi des ressources humaines et ce, dans le respect de la législation du travail en vigueur.

2.3. Quelques particularités de ce problème dans le milieu hospitalier

- Le système de production de soins, un modèle économique complexe

La santé est par essence subjective et par conséquent les mesures permettant d'avoir des informations sur le système de production de soins sont partielles et souvent indirectes. Ainsi, le système de production de soins ne peut pas être décrit à l'aide d'un modèle économique simple. Cette constatation résulte non seulement de la cohabitation, dans ce domaine, d'un secteur qui relève de l'économie marchande (les entreprises pharmaceutiques par exemple) et d'un secteur qui relève de l'économie non marchande (les organismes de soins publics par exemple) mais aussi de cette nature complexe du « produit » échangé : la santé [Pelletier, 1999].

- La planification classique ne répond pas aux besoins du système de production de soins

L'asymétrie des connaissances entre patients et professionnels et l'effet peu dissuasif du prix [Valette, 1995], rendent la théorie économique de l'équilibre général inapplicable dans le domaine de la santé. De même, l'instabilité des connaissances, autrement dit l'incertitude professionnelle qui affecte le diagnostic, les choix thérapeutiques, la difficulté de l'estimation de l'évolution de l'état du patient et l'impact du traitement sur sa santé, ajoutés à l'absence de mesure consensuelle des besoins de santé [Kerleau, 1998] [Valette, 1996] [Pineault et Davaluy, 1995] [Pampalon *et al.*, 1997] ne permettent pas d'appliquer les méthodes de planification classiques.

- Les contraintes de ressources dans les services de soins

Les contraintes engendrées par les ressources à capacité finie, notamment celles engendrées par les ressources humaines, sont remarquablement fortes dans le cas des services de soins, d'autant plus que la législation insiste particulièrement dans ce secteur sur le respect des horaires associés à chaque poste. De plus, il faut tenir compte des aspects de coordination entre les ressources intervenant dans les opérations de soins et prévoir une gestion des aléas dont la négligence se paie en subissant de plein fouet les ruptures de charge importantes et en gérant mal la complexité des enchaînements entre les opérations à accomplir. Aussi, dans un hôpital, les médecins, les chirurgiens ou les infirmières n'ont pas forcément les mêmes contraintes et les mêmes intérêts, ce qui se traduit le plus souvent par des conflits entre ces différents acteurs du système de production de soins. Désormais, les outils de planification et d'affectation de ressources peuvent ici jouer un rôle important dans la constitution d'une base de négociation rationnelle entre les différents acteurs.

3. Méthodes et techniques pour la planification et l'affectation de ressources dans les systèmes de soins

L'état de l'art que nous allons présenter est basé sur des études de systèmes existants ; il illustre différentes méthodes et techniques utilisées dans le but de résoudre certains aspects du problème de la planification et de l'affectation de ressources au sein de l'hôpital. Nous proposons une taxinomie des travaux qui tient compte de l'aspect du problème traité et de la ressource étudiée.

Cependant, il existe des travaux qui traitent uniquement l'aspect méthodologique du problème de la planification et de l'affectation des ressources dans l'environnement hospitalier. Par exemple Roth et Dierdonck [Roth et Dierdonck, 1995] discutent les concepts de base d'un système de planification des ressources à l'hôpital, dit HRP (Hospital Resource Planning). Ils choisissent de baser ce système sur les concepts de la méthode MRP II, qui a déjà fait ses preuves en milieu manufacturier. Delesie [Delesie, 1998] décrit comment la recherche opérationnelle peut aider à réduire (voir éliminer) les conflits entre professionnels et gestionnaires dans le milieu hospitalier. Lagergren [Lagergren, 1998] discute la contribution de la modélisation en recherche opérationnelle et en simulation dans la gestion des services de soins. Il souligne que les modèles doivent impliquer les différents acteurs.

Par ailleurs, nous avons noté l'existence ou l'apparition ces dernières années de travaux comportant une revue de littérature qui s'intéresse directement ou indirectement au problème de la planification et de l'affectation de ressources dans le milieu hospitalier [Combes, 1994] [Li et Benton, 1996] [Jebali et Ladet, 2001] [Chaabane et Guinet, 2001].

3.1. Planification des admissions

La planification des admissions est le moyen permettant de définir le modèle de charge du système de soins qui conduira par la suite la planification et l'ordonnancement des différentes ressources hospitalières.

La planification des admissions comporte l'étude de la dynamique des mouvements des patients à travers les différentes zones d'activités de l'hôpital. Une bonne estimation du nombre de patients dans chaque zone d'activités et de leur besoin en ressources peut aider dans : le dimensionnement des lits d'hospitalisation pour chaque service, la prévision en personnel soignant (médecins, infirmiers, ...) ainsi que dans le dimensionnement et l'organisation des plateaux techniques (imagerie médicale, laboratoire, bloc opératoire, ...). Mais le problème essentiel de toute planification des admissions réside dans les aspects aléatoires liés au milieu hospitalier avec occurrences de situations complètement imprévisibles tels que les arrivées de cas urgents et les cas de co-morbidité [Jebali *et al.*, 2003c].

Kao [Kao, 1973] propose un modèle de base de la population qui consiste essentiellement en :

- un processus stochastique décrivant les distributions d'inter-arrivée des patients dans le système,
- un processus stochastique approximant le mouvement des patients dans le système.

Les patients sont classifiés en groupes homogènes. Chaque groupe est caractérisé par une distribution d'entrée avec une moyenne et une variance connues (étude statistique du modèle de charge de l'hôpital). Deux possibilités sont prises en compte :

- à long terme, ces distributions sont supposées relativement stables,
- à court terme, les fluctuations journalières de la charge du système sont prises en compte dans le modèle par un vecteur d'information qui résume l'état du système.

L'évolution d'un patient dans le système est définie par un nombre fini d'états. Les états représentent la localisation d'un patient dans l'hôpital, à un instant donné. Les probabilités de transition d'un état i à un état j dépendent du temps passé par le patient dans l'état i . Le cheminement des patients dans le système est donc gouverné par un processus semi-markovien puisqu'il dépend du facteur temps.

Hancock [Hancock et Walter, 1984] propose un simulateur de système de contrôle et de planification des admissions (ASCSS). Cette étude est fondée sur l'analyse des flux de patients à travers les zones d'activité de l'hôpital. L'outil permet de simuler le mouvement des patients dans l'hôpital sous divers scénarios. ASCSS possède une extension qui permet de déterminer le nombre moyen de prestations pouvant être exécutées journalièrement par chaque service auxiliaire (laboratoire, imagerie médicale, ...). Un modèle stochastique de la charge est construit à partir des données issues de la base de données de l'hôpital. Ce modèle de charge est ensuite exploité pour aider à affecter, pour une période donnée, les différentes ressources de l'hôpital.

Kusters et Groot [Kusters et Groot, 1996] décomposent un système de planification des admissions en quatre éléments :

- un ensemble d'objectifs : les principaux objectifs attribués à un système de planification des admissions sont la minimisation de l'attente des patients avant et après hospitalisation, la maximisation de l'utilisation des ressources et l'optimisation de la disponibilité des services d'urgence,
- un système d'enregistrement des files d'attente : il permet de fournir l'information concernant la demande de soins. La sélection des patients pour une admission se fait à partir de ce système d'enregistrement en fonction de la disponibilité des ressources,
- un planificateur des admissions : il doit tenir compte de l'expertise des professionnels et fournir une décision qu'ils acceptent. Un planificateur des admissions doit consister en un système homme-machine,
- un système de prévision : il permet de prévoir les effets d'une décision d'admission sur le système. Il est fondé sur l'estimation de la disponibilité des ressources au moyen d'outils statistiques.

Les auteurs proposent ainsi un système de planification des admissions basé sur un modèle statistique de prévision de la disponibilité des lits d'hospitalisation, du personnel infirmier et du bloc opératoire, qu'ils considèrent comme ressources critiques à prendre en compte dans une décision d'admission.

Vries et Beekman [Vries et Beekman, 1998] présentent un modèle qui étudie la dynamique de la liste d'attente des patients dans les services de gériatrie. L'objectif est de minimiser le temps d'attente des patients. La liste d'attente englobe toutes les maisons de repos de la région. Le modèle estime le temps d'attente moyen ainsi que la longueur moyenne de la liste d'attente à l'état stable. La dynamique de la liste d'attente est justifiée par la dépendance entre le nombre de renoncements des patients et le temps d'attente d'une part et les décès de quelques patients en cours d'attente d'autre part.

Le modèle proposé permet ainsi :

- de décrire quelques aspects de la dynamique d'attente pour les maisons de repos,
- d'estimer l'horizon de la liste d'attente et le temps d'attente moyen (jusqu'à atteindre l'état stable) suite à des changements imprévus sur les principaux paramètres du modèle tels que le nombre de lits disponibles ou le nombre de patients potentiels,

- de discuter d'avance des différents scénarios tels qu'une réduction du nombre de lits, une possible augmentation du nombre de patients à prendre en charge ou un retard planifié dans l'admission des patients compensé par une prise en charge à domicile.

Le modèle a été utilisé dans un premier temps en 1991 dans l'objectif d'estimer le nombre de lits nécessaires pour la région de la Hague pour la décade à venir. Le modèle a montré qu'une augmentation du nombre de lits aurait des effets modestes sur la diminution du temps d'attente moyen. Une deuxième utilisation du modèle a été entreprise en 1992 pour examiner le nombre de lits nécessaires permettant de réduire le temps d'attente moyen de jours dans la région de la Hague. Une autre application récente du modèle a consisté dans l'évaluation de nouvelles politiques de soins dans la région.

Guinet et Chaabane [Guinet et Chaabane, 2003a] proposent un programme linéaire en nombres entiers qui permet de proposer au patient une date d'hospitalisation dès que chirurgien et médecin anesthésiste-réanimateur se prononcent sur la nécessité d'une intervention chirurgicale. Les auteurs soulignent que l'utilisation d'un tel modèle n'a d'intérêt qu'à condition que l'on puisse à chaque résolution de problème remettre en cause les dates de programmation des patients. Par ailleurs ce modèle ne peut être résolu au moyen des solveurs commercialisés. Ainsi, les auteurs prônent le recours à une approche heuristique dans la résolution de ce type de problèmes.

Une problématique annexe à la planification des admissions est celle de prise de rendez-vous en consultation externe. Bien que les deux problématiques se joignent dans les objectifs (minimiser l'attente des patients) et le type de contraintes, la planification des admissions pour hospitalisation semble beaucoup plus complexe. En effet, cette complexité peut s'expliquer par le nombre important de ressources qui interviennent dans la prise en charge du patient dans le cadre d'une hospitalisation ainsi que la complexité du processus de soins et ses aspects aléatoires.

Nous citons deux travaux qui ont abordé cette problématique.

Klassen et Rohleder [Klassen et Rohleder, 1996] comparent différentes règles d'ordonnancement pour fournir des rendez-vous de consultation. La difficulté de ce problème réside dans la méconnaissance de l'état de santé du patient : il s'agit d'un patient qui n'est pas urgent, un patient urgent ou très urgent. L'objectif de cet ordonnancement est de minimiser l'attente du patient ainsi que l'inoccupation des ressources. Les auteurs utilisent un modèle de simulation pour évaluer les différentes règles d'ordonnancement ainsi que les plages de rendez-vous réservées aux cas urgents en fonction de la dynamique de l'environnement.

Swisher [Swisher *et al.*, 2001] développe un modèle de simulation à événements discrets dans un objectif d'aider les professionnels dans les tâches administratives. Ce modèle permet de gérer les opérations de différents cabinets de consultation en réseau grâce à une centralisation de l'information. Au-delà de l'aide en termes de gestion des opérations, de gestion des relations entre les différents cabinets et les compagnies d'assurance, cet outil favorise un échange d'expérience entre les professionnels.

A l'issue de cette étude bibliographique, nous pouvons dire que les différents travaux qui ont abordé le problème de la planification des admissions, se sont basés sur des modèles mathématiques ou des modèles de simulation. De façon plus précise, nous avons remarqué une utilisation importante de la théorie des files d'attente, des modèles statistiques et de prévision, des modèles markoviens et semi-markoviens et de la simulation à événement discrets, de l'ordonnancement et de la programmation mathématique.

Toutefois, peu nombreux sont les travaux qui soutiennent l'idée d'établir des admissions sur une échelle régionale ou nationale (considérer tous les hôpitaux de la région ou du pays) [Iverson, 2000] [Theo De Vries et Beekman, 1998]. Ceci peut être expliqué par les exigences du patient dans le choix de l'établissement hospitalier ou du médecin [Iverson, 2000]. Une autre explication pourrait être le coût du transport que pourrait induire une telle approche de gestion des listes d'attente.

La planification des admissions représente une étape préliminaire de notre travail dans la mesure où elle permet essentiellement de déterminer le modèle de charge du système. En effet, nous nous basons sur ce modèle pour planifier et ordonnancer les différentes ressources hospitalières afin d'améliorer la qualité des prestations tout en conservant des objectifs économiques. Roth et Dierdonck [Roth et Dierdonck, 1995] qui proposent d'adapter une approche MRP pour la gestion des ressources hospitalières, évoquent l'élaboration d'un plan directeur d'admissions (Master admissions schedule) comme un équivalent du plan directeur de production dans le cas manufacturier.

3.2. Dimensionnement et allocation des lits d'hospitalisation

Le dimensionnement et l'allocation des lits d'hospitalisation est l'un des problèmes les plus abordés autour du problème de la planification des systèmes de soins. En effet, les lits constituent l'une des ressources « goulot » de l'hôpital. D'ailleurs, la capacité d'un hôpital est souvent exprimée en nombres de lits.

Kao et Tung [Kao et Tung, 1981] proposent un modèle pour la réallocation des lits des patients hospitalisés dans un service, en utilisant la théorie des files d'attente. Il présente une approche permettant de redéfinir journalièrement l'allocation des lits. Cette redéfinition permet de satisfaire le maximum de demandes. Il utilise une file d'attente M/G/8 (arrivée poissonnienne / service suivant une loi générale / infinité de serveurs) pour approximer la dynamique des patients de chaque unité de soins. Dans une première étape, il s'agit de déterminer le nombre de lits nécessaires pour chaque service. La deuxième étape consiste dans l'allocation des lits entre les différents services. Cette approche a été validée par un modèle de simulation.

Face à une augmentation remarquable des admissions dans les urgences, Huang [Huang, 1998] propose d'aborder les problèmes de planification des lits comme des problèmes de files d'attente. En effet, les patients arrivent à l'hôpital d'une façon aléatoire et leur délai de séjour est aussi aléatoire. L'auteur prône l'utilisation des techniques de la simulation dans la résolution de ce problème vu sa complexité. Dans une unité de soins, les paramètres importants dans la détermination des besoins en lits sont : le nombre d'admissions en urgence par jour, la distribution des dates d'arrivée des patients par jour ainsi que la durée de séjour d'un patient dans l'unité. L'auteur propose un modèle similaire à celui adopté par [Kao et Tung, 1981], mais qui est plus réaliste dans la mesure où il considère une distribution d'occupation variable sur la demi-journée et détermine un nombre de lits de type entier à allouer aux spécialités. L'objectif du modèle est de pouvoir minimiser la demande en lits supplémentaires à prévoir sur un horizon de temps.

Dumas [Dumas, 1984] a développé un modèle de simulation pour résoudre les problèmes d'allocation des lits dans les différents services d'un hôpital. Le modèle de simulation est conçu pour analyser le fonctionnement du système afin de proposer et d'évaluer différentes politiques de gestion des lits, des lois d'admission ainsi que des stratégies de réallocation (changement d'affectation pour un patient).

Vassilacopoulos [Vassilacopoulos, 1985] utilise la simulation pour déterminer le nombre de lits nécessaires au bon fonctionnement d'un hôpital, en tenant compte de l'évolution future de ce dernier. Les contraintes suivantes ont été prises en compte :

- les patients reçus en urgence doivent être acceptés sans aucun délai dans les services relevant de leur pathologie,
- le temps pendant lequel un lit n'est pas affecté à un patient doit être le plus court possible,
- la longueur des listes de pré-admissions ne doit pas excéder un nombre prédéfini de patients.

L'objectif est de déterminer une politique d'affectation des lits d'hospitalisation qui maximise leur taux d'occupation, tout en évitant les saturations (service complet).

L'allocation des ressources aux spécialités dans les hôpitaux nécessite une coordination entre les capacités de ressources intervenant dans la production de soins [Vissers, 1998]. Aussi, cette allocation doit être régulièrement actualisée et doit être basée sur les flux de patients. Dans un premier travail, Vissers [Vissers, 1994] a développé une approche d'allocation de ressources aux spécialités selon la demande tout en tenant compte d'une utilisation équilibrée des ressources. L'auteur distingue deux types de ressources : les ressources de conduite et les ressources de suivi. Par exemple, pour une intervention chirurgicale, le nombre de salles d'opération allouées à la spécialité de chirurgie représente une ressource de conduite alors que les lits et le personnel infirmier sont des ressources de suivi. Pour ces ressources de conduite, les hôpitaux utilisent souvent le concept de sessions où une session est une période de temps allouée à un spécialiste sur un poste de travail pour traiter un nombre de patients nécessitant le même type de ressources. La répartition de ces sessions est fixe durant les jours de la semaine et est régularisée par les emplois du temps des spécialistes. Ces emplois du temps jouent ainsi le même rôle que le plan directeur de production dans le cas industriel. L'auteur cite, dans ce contexte, les différents types de coordinations nécessaires à l'allocation de capacités :

- coordination dans l'allocation de ressources de conduite entre spécialités,
- coordination dans l'allocation de différentes ressources à une spécialité,
- coordination des impacts de ressources de suivi partagées par les spécialistes et non allouées à une spécialité,
- coordination des capacités des spécialistes au sein d'une spécialité.

Cette approche est illustrée sur un cas d'étude qui porte sur un hôpital devant faire face fréquemment à des situations de saturation conduisant à un arrêt des admissions [Vissers, 1998]. Ainsi, les lits d'hospitalisation sont considérés comme la ressource la plus « goulot » de l'hôpital. Sur un horizon d'un an ou plus, les hôpitaux utilisent une allocation fixe des lits d'hospitalisation entre les différentes spécialités. L'auteur distingue, en fonction de la durée de séjour des patients, trois types de lits :

- les lits d'un jour de séjour : ils sont partagés par les différents services de l'hôpital,
- les lits de court séjour (un séjour inférieur à 5 jours) : ils sont alloués en général à une spécialité mais en pratique ils sont utilisés par d'autres spécialités en cas de besoin,
- les lits de séjours réguliers (un séjour supérieur à 5 jours) : ils sont spécifiques à une spécialité.

L'auteur propose une méthode flexible et cohérente d'allocation de ressources dans un objectif de permettre une planification dynamique de la capacité, qui tient compte du développement de la zone desservie par l'hôpital (structure de la population, ses besoins et part de marché) et des évolutions technologiques dans le domaine médical, en vue d'une utilisation équilibrée des ressources par spécialité. Cette méthode comporte trois étapes :

1. L'identification de la ressource « goulot »,
2. L'allocation de la ressource « goulot », définie dans l'étape précédente, aux spécialités ou aux départements en se basant sur son utilisation actuelle,

3. L'affectation des autres ressources aux spécialités ou aux départements.

L'allocation de ressources « goulot » est basée essentiellement sur leur utilisation actuelle et l'analyse de la population, de la demande et du développement de la part de marché. Cependant, une augmentation ou une diminution de la capacité d'une ressource « goulot » se décide en fonction des considérations stratégiques concernant le futur profil de l'hôpital.

L'approche ainsi décrite pour l'allocation des ressources peut être appliquée pour d'autres types de problèmes : réorganisation des emplois du temps des spécialistes, des blocs opératoires et des consultations externes ; réallocation des ressources ; évaluation des impacts de l'immobilisation d'équipements pour les chirurgies de jour ou de court séjour ; amélioration de la charge de travail et du niveau de service dans les départements médicaux.

Iversen [Iversen, 2000] utilise un modèle de file d'attente afin de trouver une allocation des patients entre les différents hôpitaux qui minimise leur temps d'attente. L'auteur fait remarquer qu'une telle centralisation dans l'allocation des patients aux hôpitaux peut réduire les temps d'attente et ce, en diminuant la variation dans l'utilisation des capacités de ressources entre les hôpitaux. Cependant, une admission aux services de soins sur la base d'une file d'attente nationale viole l'idée de donner la possibilité au patient d'accéder à l'établissement de son choix. Une allocation rentable des patients entre des hôpitaux implique la spécialisation entre des hôpitaux. Ce résultat suppose des coûts modérés relatifs au transport du patient, même quand les hôpitaux sont de même efficacité.

Le dimensionnement et l'allocation des lits d'hospitalisation sont fortement liés au problème de la planification des admissions. En effet, le premier objectif d'un dimensionnement ou d'une allocation consiste à satisfaire la demande de soins en diminuant par exemple les temps d'attente des patients avant hospitalisation. Nous avons, par ailleurs, relevé une utilisation abondante des outils de simulation. Bien que certains auteurs [Huang, 1998] déconseillent l'utilisation des modèles mathématiques pour la modélisation et la résolution de ce problème « complexe », celle-ci n'a pas été exclue [Vissers, 1998].

3.3. Planification du personnel

Ils sont nombreux les travaux qui ont abordé le problème de la planification du personnel dans le milieu hospitalier, notamment celui de la gestion des plannings infirmiers. En effet, ce problème est très important pour trois raisons [Siferd et Benton, 1992] :

- les services infirmiers doivent être disponibles 24 heures sur 24 et ce durant les sept jours de la semaine,
- un hôpital ne peut pas exister sans fournir des soins infirmiers,
- chaque patient aujourd'hui a un besoin rigoureux en standard et qualité de soins infirmiers.

Les auteurs soulignent en même temps la pénurie des infirmiers qui a amplifié l'importance de ce problème dans les milieux hospitaliers.

Siferd et Benton [Siferd et Benton, 1992] ont présenté une revue de la littérature autour de cette problématique. Les travaux ont porté sur l'évaluation des coûts des soins infirmiers, l'alternative d'employer des infirmiers temporaires dans un objectif de réduire ces coûts. En effet, les services infirmiers consomment de 40 à 60% du budget annuel de l'hôpital. Les pressions de coût, qui ont créé le besoin d'un plus haut niveau de soins infirmiers (les patients qui n'ont pas besoin d'un haut niveau de soins infirmiers ne sont plus hospitalisés) ont forcé les hôpitaux à scruter de près leur besoin en cette ressource ainsi que sa planification. D'autres travaux (en recherche opérationnelle) ont étudié la construction des plannings infirmiers. Ce problème est modélisé comme un

programme linéaire à variables entières ou mixtes ou comme un problème cyclique d'ordonnement.

Kumar et Kapur [Kumar et Kapur, 1989] ont analysé le fonctionnement d'un service des urgences par simulation. Ils proposent un outil d'aide à la planification des infirmières pour faire face à la nature aléatoire des flux de patients. Ils classent les patients selon le degré d'acuité de leur pathologie. Pour chaque classe de patient, la trajectoire de soins ainsi que les ressources nécessaires à la prise en charge sont déterminées. Les données utilisées dans le modèle sont ainsi :

- l'arrivée des patients par heure et par jour,
- la classe d'acuité des patients par heure et par jour,
- la longueur de la file d'attente par jour,
- les infirmières nécessaires pour les patients d'acuité grave,
- le temps d'immobilisation d'une infirmière, par niveau d'acuité du patient,
- les patients quittant l'urgence sans être suivis par une infirmière, par niveau d'acuité.

Les critères de performance étudiés sont :

- le temps d'attente des patients,
- le taux d'occupation du personnel soignant,
- le taux d'utilisation de la salle d'attente.

Le but de ce modèle est d'évaluer l'effet d'une variation du nombre d'infirmières sur la qualité des soins, pour différents plannings réalisables. Le planning infirmier « optimal » est celui dans lequel le temps d'attente et la longueur de la file d'attente sont acceptables et les ressources sont (les infirmières) employées le mieux possible.

McHugh [McHugh, 1989] utilise la simulation pour proposer des plannings infirmiers optimisant les coûts induits par leur salaire et satisfaisant au plus la demande.

Bradi et Hollingsworth [Bradi et Hollingsworth, 1992] utilisent la simulation comme outil pour évaluer l'efficacité du fonctionnement du service des urgences d'un hôpital. L'objectif est d'étudier diverses politiques de gestion afin d'améliorer la productivité et l'efficacité de ce service. Le modèle proposé a permis d'évaluer, sous différentes stratégies, les changements induits concernant la planification et la disponibilité des ressources. Les objectifs de ce modèle sont :

- augmenter la qualité des soins,
- déterminer les effets de la réduction du nombre de ressources sur la qualité des soins,
- étudier une classification des patients selon le degré d'acuité de leur pathologie afin de proposer une politique de gestion adéquate.

Pour divers scénarios, les critères de performance étudiés sont :

- le taux d'utilisation des ressources (personnel, lits, ...),
- le temps moyen de séjour des patients en général et par catégorie,
- le temps moyen d'attente des patients pour chaque ressource,
- le nombre moyen de patients n'ayant pu être acceptés dans cet hôpital (transfert vers un autre hôpital),
- la disponibilité de chaque ressource.

Une telle étude permet d'anticiper l'impact d'un changement du fonctionnement du service. Une nouvelle politique de gestion a été testée, elle consiste à réduire les effectifs en médecins et à ne plus prendre en charge les patients dont l'acuité est peu importante (telle qu'une pathologie relevant d'un simple rhume). L'implémentation de cette politique de gestion, dans les services des urgences a été testée pendant un mois, avant d'être définitivement adoptée par la direction hospitalière.

Heus [Heus, 1996] propose une approche de résolution au problème des plannings infirmiers, basée sur les techniques de programmation par contraintes (PPC). L'élaboration des plannings infirmiers

est une tâche qui vise à distribuer dans le temps les ressources que constituent les infirmiers en respectant un certain nombre de contraintes issues du travail, de la réglementation hospitalière, des charges de travail liées à l'activité prévue du service, du souhait du personnel et du bon sens. Il s'agit d'affecter à chaque infirmier du service son planning de travail durant une période fixe (de 2, 4 ou 6 semaines), en spécifiant pour chacun les jours et horaires de travail et les jours et types de congés. La formulation du problème comme problème de satisfaction de contraintes (CSP) favorise une gestion transparente des contraintes et des affectations journalières des infirmiers, qui facilite l'interactivité avec l'utilisateur et la prise en compte des vœux individuels, et permet un management plus participatif des plannings.

Jaumard [Jaumard *et al.*, 1998] présente un modèle qui permet de générer une configuration d'ordonnancements individuels pour chaque infirmier sur un horizon de planification donné. La configuration des ordonnancements des infirmiers est générée afin de répondre aux accords collectifs et de couvrir la demande en personnels infirmiers tout en minimisant les coûts induits par les salaires et tout en maximisant les préférences des infirmiers aussi bien que la qualité des soins. Les accords collectifs consistent en des règles qui aident à définir les ordonnancements acceptables pour un infirmier en termes d'ancienneté, de charge de travail, de vacances, de week-ends libres, de jours de congés et de différentes possibilités de rotations. Le problème principal permet de trouver la configuration de l'ensemble des ordonnancements individuels. La formulation de base du problème principal minimise la somme pondérée des salaires, des préférences et des expériences des infirmiers, sous contrainte de couvrir la demande. Chaque colonne de la matrice de contraintes du problème principal n'est autre qu'un ordonnancement réalisable d'un infirmier. Vu la grande dimension de la matrice de contraintes, uniquement une partie des colonnes est considérée à la fois. Les autres sont générées s'il y a besoin d'améliorer la solution courante. La recherche d'une solution d'ordonnement acceptable est définie comme un problème auxiliaire. Pour un infirmier, ce problème est formulé comme un problème de plus court chemin avec contraintes de ressources dont les chemins définissent des colonnes de la matrice de contraintes du problème principal. Ce problème de plus court chemin avec contraintes de ressources a pour objectif de déterminer le chemin qui améliore la solution courante du problème principal tout en satisfaisant les accords collectifs.

L'avantage de ce modèle consistant en une approche heuristique est sa flexibilité vis-à-vis des changements de l'environnement de planification. Il s'agit ainsi d'une première approche de solution exacte qui permet un ordonnancement flexible et réaliste des infirmiers.

Brauner [Brauner *et al.*, 2003] propose l'intégration des méthodes de réécriture et de recherche opérationnelle pour la modélisation et la résolution du problème de génération hebdomadaire d'emploi du temps de médecins dans un service de radiologie. En effet, certaines contraintes de ce problème sont d'un genre symbolique et sont difficiles et/ou non naturelles à coder de manière numérique. Les systèmes de réécriture permettent une description aisée de ce genre de contraintes ainsi qu'une recherche de toutes les solutions respectant ces contraintes. Ainsi, les techniques de recherche opérationnelle seront centrées sur des parties du problème purement combinatoires alors que le système de réécriture permettra de traiter l'ensemble des contraintes qui ne s'expriment pas facilement sous forme utilisable directement en recherche opérationnelle.

Weil [Weil *et al.*, 2003] souligne que la construction des plannings de personnels dans l'unité de soins est un problème ancien mais qui prend aujourd'hui une nouvelle acuité sous la double stimulation :

- du mouvement vers de nouvelles organisations du temps de travail tels que l'annualisation, la mise en oeuvre des 35 heures, le temps partiel et le développement de la polyvalence.

- de la sensibilité sociale croissante du domaine telles que la conformité au droit et l'importance croissante de l'équité.

3.4. Planification du bloc opératoire

Le bloc opératoire constitue une ressource «goulot» très coûteuse de l'hôpital. Une revue de la littérature montre qu'il existe un nombre important de travaux, notamment ces dernières années, qui se sont intéressés à la planification et à l'ordonnancement de ce plateau technique. L'ordonnancement du bloc opératoire, dit «programmation opératoire», consiste à préciser les interventions à réaliser sur une période variable d'une semaine ou d'une journée et ce, en leur attribuant des ressources et en fixant l'ordre de leur exécution.

Nous distinguons différents types de blocs opératoires dans les établissements hospitaliers. La typologie peut être établie en parcourant une dimension technologique et une dimension organisationnelle. La dimension technologique considère le degré de spécialisation de l'équipement des salles d'opération ainsi que le type du bloc opératoire, qu'il s'agisse d'un bloc septique ou aseptique. La dimension organisationnelle définit si l'établissement hospitalier possède un bloc opératoire central unique ou si chaque spécialité de médecine possède sa propre infrastructure de bloc. Nous avons identifié 4 types d'approches de construction du programme opératoire :

- Une programmation ouverte (Open Scheduling) : elle consiste à proposer un programme opératoire sans contraintes de placement. La programmation opératoire consiste, dans ce cas, à ordonnancer les interventions en satisfaisant l'ensemble des contraintes et en optimisant une fonction objectif. Marcon et Kharraja [Marcon et Kharraja, 2002b] distinguent deux manières de gérer le planning : par remplissage chronologique suivant la règle premier demandeur, premier servi ou suivant un processus de négociation entre les différents acteurs⁸ dirigé par le responsable du bloc après une collecte de l'ensemble des demandes d'intervention.
- Une programmation par pré-allocation de plages horaires (Block Scheduling) : elle consiste à allouer, au préalable, des plages horaires à des chirurgiens, des groupes de chirurgiens ou des spécialités médicales. La décomposition du planning hebdomadaire en blocs de temps s'effectue en créant un plan directeur de l'activité chirurgicale (Master Surgical Schedule) pour la période d'une semaine en tenant compte des durées des interventions à réaliser [Blake *et al.*, 2002] [Dexter *et al.*, 1999a] [Kharraja et Marcon, 2003]. L'idéal, dans cette technique, est de trouver une décomposition qui ne change pas d'une semaine à une autre. En réalité, le plan directeur de l'activité chirurgicale peut changer d'une semaine à une autre. Ainsi, cette technique de programmation opératoire prévoit un système d'information permettant de capter les modifications de l'activité d'une semaine à une autre et une coordination entre les différents chirurgiens, groupes de chirurgiens ou spécialités [Vissers, 1994].
- Une programmation par pré-allocation de plages horaires avec processus d'ajustement (Modified Block Scheduling) : elle combine les deux techniques précédentes. Elle part d'une décomposition du planning hebdomadaire en plages horaires. Deux pratiques courantes sont utilisées : (1) une partie des plages horaires est allouée pour des chirurgiens, des groupes de chirurgiens ou des spécialités, l'autre partie des plages reste commune (Unassigned block) et est gérée par une programmation ouverte selon la règle premier demandeur, premier servi ; (2) à partir d'une certaine date (Block release time), les plages délaissées par leur allocataires seront banalisées et ce, afin de maximiser l'utilisation des blocs opératoires [Malhotra, 2001] [Marcon

⁸ Les acteurs sont les membres de l'équipe anesthésique et de l'équipe chirurgicale.

et Kharraja, 2002b]. L'objectif de cette technique est de joindre les avantages des deux premières.

- Une programmation opératoire basée sur une allocation du bloc opératoire central aux différentes spécialités médicales : il s'agit d'allouer des salles d'opération ou des plages horaires aux différentes spécialités de chirurgie en se basant sur des modèles de prévision de la charge. Il s'agit du même principe que celui du Block Scheduling mais avec des prévisions sur des horizons de temps plus importants qu'une semaine (généralement une année). Vissers [Vissers, 1998] identifie le bloc opératoire comme une des ressources les plus critiques de l'hôpital. Il propose une approche d'allocation du bloc opératoire aux différentes spécialités en se basant sur l'utilisation actuelle, l'analyse du besoin de la population, la demande et le développement de la part de marché. Le problème de la programmation opératoire revient alors à celui posé dans le cas où chaque spécialité médicale possède sa propre infrastructure de bloc.

Marcon et Kharraja [Marcon et Kharraja, 2002b] détaillent les avantages et les inconvénients de chacune des trois premières approches de programmation opératoire. L'avantage d'une programmation ouverte réside dans la flexibilité de la programmation. Elle s'adapte mieux à l'environnement aléatoire que constitue le bloc opératoire. Toutefois, la recherche d'un ordonnancement optimal est généralement un problème complexe [Pinedo, 1995].

Dans la deuxième approche, la combinatoire du problème d'ordonnancement est considérablement réduite. Cependant, la construction du plan directeur de l'activité chirurgicale n'est pas une tâche facile. Des plages sur-dimensionnées apportent du confort aux chirurgiens mais entraînent une productivité médiocre. Des plages sous-dimensionnées peuvent nécessiter, en cas d'aléas, de dépasser les heures prévues d'ouverture des salles d'opération et de provoquer des tensions entre les différents acteurs.

La troisième approche est intéressante quoique sa mise en oeuvre n'est pas évidente, notamment en ce qui concerne l'ajout de nouvelles interventions sur les nouvelles plages disponibles (cas d'une programmation de type time-released block). Une telle approche nécessite la mise en place d'une organisation permettant d'assurer le contact avec les patients devenus possibles à opérer. Cette organisation doit ainsi inclure des moyens de communication et prévoir une concertation avec les patients à accepter une intervention confirmée avant 48 heures.

Une étude de benchmarking réalisée en 1996 aux Etats Unis, portant sur les pratiques des trois premières approches de programmation opératoire dans 89 hôpitaux de tailles différentes dont 54 sont universitaires⁹, montre une prédominance de l'approche Modified Block Scheduling pour les blocs réalisant un nombre d'interventions annuel inférieur à 8 000. Pour des blocs très importants en nombre d'interventions annuel, l'approche Block Scheduling est la plus utilisée. Quant à l'approche Open Scheduling, elle n'est utilisée que pour des blocs de petite dimension (réalisant moins que 8 000 interventions par an) [Marcon et Kharraja, 2002b].

Dans le cas où chaque service médical possède sa propre infrastructure de bloc et si le nombre d'interventions annuel par spécialité n'est pas très important, nous prôtons l'utilisation d'une programmation opératoire ouverte. En effet, nous pensons qu'il serait intéressant, dans ce cas, de voir si la combinatoire du problème peut permettre la recherche d'un programme prévisionnel optimal.

⁹ Source : OR Manager 1996.

Cependant, dans le cas d'un bloc opératoire central, toutes les approches de programmation opératoire restent envisageables.

Nous présentons, par la suite, quelques travaux qui ont abordé la problématique de construction du programme opératoire.

Dexter [Dexter *et al.*, 1999b] propose d'utiliser des heuristiques de bin packing « off-line » et la mise en place d'une contrainte floue pour la planification des interventions et l'ajout d'interventions supplémentaires. Ce travail a été utilisé dans le cas d'une approche Block Scheduling mais la problématique est identique puisque les plages horaires considérées par les auteurs correspondent aux plages d'ouverture des salles d'opération pour la journée. Les auteurs assimilent une salle d'opération à un container de dimension fixe. Ainsi, ils proposent de placer les interventions dans ces containers en maximisant le remplissage de chaque container ouvert et en minimisant le nombre de containers ouverts. Une étude comparée de dix heuristiques classiques de bin packing montre que le « best-fit décroissant » est celui qui maximise l'utilisation des salles d'opération.

Marcon [Marcon *et al.*, 2001a] [Marcon *et al.*, 2001b] adapte le modèle de sac à dos multiple (Multiple Knapsack problem) au problème d'affectation des interventions aux salles d'opération, en supposant que les chirurgiens ne changent pas de salle pendant une journée et que les salles d'opération sont équivalentes. Chaque salle d'opération est représentée par un sac dont la capacité correspond à sa durée d'ouverture. Les interventions sont les articles à placer, la durée d'intervention correspond ainsi au poids de l'article. L'objectif est de déterminer un programme qui équilibre la charge des salles d'opération tout en minimisant le Risque de Non Réalisation (RNR) engendré par l'aspect aléatoire des temps opératoires qui ont été représentés par une variable aléatoire dont la loi de distribution peut être normale ou log-normal. Les auteurs commencent par chercher un programme qui satisfait les contraintes et qui essaie d'équilibrer la charge des salles d'opération. Ensuite, ils utilisent la simulation pour déterminer son RNR. Ils observent que dans le cas prévisionnel, minimiser le RNR revient à minimiser les écarts de fermeture des salles donc à équilibrer la charge entre les différentes salles d'opération.

Guinet et Chaabane [Guinet et Chaabane, 2003b] distinguent deux étapes de construction d'un programme opératoire.

- Une étape de planification pour laquelle ils ont proposé un programme linéaire à variables entières permettant d'affecter sur l'horizon d'une semaine les interventions aux salles d'opération. L'objectif est de trouver un programme opératoire hebdomadaire qui minimise aussi bien l'attente des patients entre date d'hospitalisation et date d'intervention que le dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc. Les contraintes prises en compte portent sur la capacité du bloc opératoire en termes d'heures régulières et supplémentaires d'ouverture, les dates d'hospitalisation au plus tôt et au plus tard, la date d'intervention au plus tard, le nombre maximal d'interventions qu'un chirurgien peut réaliser par jour, l'équipement d'une salle d'opération en matériel nécessaire à la réalisation de l'intervention. Pour la résolution de ce problème en temps polynomial, les auteurs proposent une heuristique basée sur la méthode Hongroise [Khun, 1955].
- Une étape d'ordonnancement journalier des interventions qui tient compte de la Salle de Soins Post-Interventionnelle (SSPI). Les auteurs modélisent le problème comme un flow-shop hybride à deux étages avec des contraintes de type « sans attente ». L'objectif est de minimiser le makespan (C_{max}) afin de minimiser le temps supplémentaire d'ouverture du bloc opératoire.

Rossi-Turk [Rossi-Turk, 2002] propose de s'inspirer des outils de gestion industrielle pour optimiser l'exploitation du bloc opératoire. Elle utilise ainsi la méthode MRP II (Manufacturing

Resource Planning) pour la programmation des interventions et le calcul des besoins en ressources. La figure 5 expose les trois niveaux de planification de la méthode MRP II transposés au bloc opératoire.

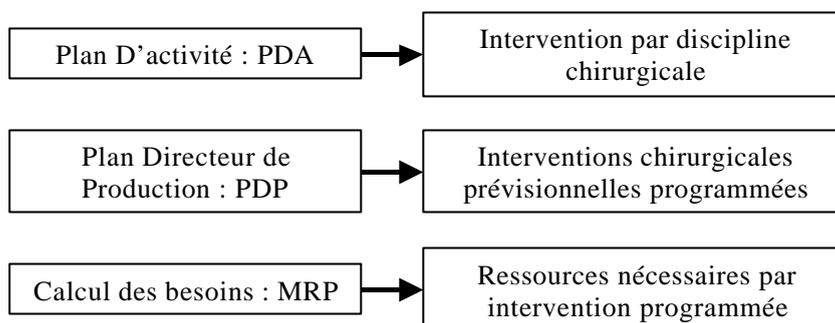


Figure 5 : Transposition des trois niveaux de planification du MRP II au bloc opératoire [Rossi-Turk, 2002]

- Le plan d'activité est établi au niveau des disciplines chirurgicales par un dialogue constructif entre tous les acteurs clés intervenant au bloc : chirurgiens, anesthésistes, infirmiers, techniciens, etc. Son objectif est de permettre un cadrage global de l'activité qui facilite l'orientation de l'allocation des ressources. Ce plan doit permettre d'anticiper globalement l'inadéquation entre capacité et charge induite par le programme prévisionnel. L'horizon de planification est au minimum le mois et la périodicité peut être le jour.
- Le plan directeur de production définit l'échéancier des interventions. L'horizon est au minimum la semaine et la période la journée voire la demi-journée. Il est l'objet d'un calcul glissant de jour en jour et est réparti en trois zones :
 - Une zone ferme où on n'accepte plus de modifications. Cette zone peut être J-24 heures où J est le jour de réalisation des interventions programmées.
 - Une zone flexible égale à J-7 jours. Cette zone reste susceptible de modifications acceptées dans le cadre d'un consensus entre les acteurs clés jusqu'au jour J-1.
 - Enfin la zone libre (>J+7), reste susceptible de modifications éventuelles.
- Le calcul des besoins utilise les informations suivantes :
 - les nomenclatures donnant la liste des ressources à prévoir pour chaque intervention programmée (matériel, fourniture médicales et chirurgicales),
 - les délais d'obtention de ces articles,
 - les stocks disponibles et les commandes à réceptionner,
 - les règles de gestion (lot de commande, stock de sécurité, etc.).

Le pilotage des activités doit permettre de préciser de jour en jour l'exécution du programme opératoire. Il doit optimiser la relation entre les hommes, le matériel, les matières de manière à exécuter le PDP, contrôler les priorités et améliorer l'efficacité. Le pilotage des activités comprend l'affectation des salles d'opération aux interventions ainsi que l'ordonnancement des interventions dans chaque salle. L'auteur décrit un programme linéaire à variables entières pour l'affectation des interventions aux salles d'opération fondée sur une approche multicritère (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). La fonction objectif consiste à maximiser l'adéquation des salles aux interventions. Quant au séquençement des interventions, il se réalise suivant une règle de priorité.

Toutefois, la validation de la planification prévisionnelle par le calcul de charges ne permet pas de garantir l'existence d'un ordonnancement admissible qui respecte les contraintes de profils horaires des ressources humaines dans le bloc. En effet, il n'est pas certain que la solution de planification assure un ordonnancement sans faire appel aux heures supplémentaires.

Kharraja [Kharraja *et al.*, 2002] explore les performances de deux stratégies de programmation opératoire :

- une programmation centrée sur les salles d'opération,
- une programmation centrée sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI».

La première stratégie est celle couramment utilisée dans les établissements hospitaliers. Les auteurs exposent deux politiques de gestion qui peuvent être adoptées :

- un chirurgien opère dans une même salle durant une journée,
- un chirurgien peut opérer dans plusieurs salles durant une journée.

Pour la première politique, les auteurs proposent un algorithme de résolution en deux étapes :

- une affectation des chirurgiens aux salles d'opération en utilisant un programme linéaire en nombres entiers (0-1) ayant comme objectif de minimiser l'écart entre les instants de fermeture des différentes salles,
- un ordonnancement suivant une règle de priorité telle que SPT (*Shortest Processing Time*) ou LPT (*Longest Processing Time*).

Pour la deuxième politique, les auteurs proposent un programme linéaire en nombres entiers (0-1). Cette méthode, très utilisée (manuellement) par les responsables de bloc, présente l'avantage d'améliorer la qualité de l'ordonnancement. Cependant, la complexité de résolution de ce problème d'une façon optimale explique la difficulté de sa mise en œuvre.

Les auteurs modélisent le problème de construction de programme opératoire en tenant compte de la SSPI comme un flow-shop hybride à plusieurs étages, sans stocks intermédiaires. Si l'on considère les lits de l'unité de soins intensifs, il s'agit d'un flow-shop hybride à trois étages. Toutefois, peu nombreuses sont les interventions programmées qui passent par cette unité. De plus, ces interventions ont un séjour moyen de l'ordre d'une semaine. Ainsi, les auteurs préfèrent ne considérer que les deux autres étages dans l'ordonnancement : le premier étage comportant les salles d'opération, le second étage comportant les lits de la SSPI. L'objectif est de minimiser le makespan (C_{\max})¹⁰.

Pour résoudre ce problème, les auteurs proposent une décomposition spatiale du problème. Ainsi chaque étage est considéré d'une façon indépendante de l'autre. Par ailleurs, les auteurs imposent une dépendance technologique inter-étage : à chaque salle d'opération correspond un lit de la SSPI. La démarche de résolution se compose de deux étapes principales. La première étape consiste à affecter les interventions, groupées par chirurgiens «équipes», aux salles d'opérations selon une stratégie permettant une répartition équitable de la charge entre salles d'opération. La seconde consiste à rechercher la séquence de passage des opérations dans chaque salle d'opération basée sur l'algorithme de Johnson. Les auteurs utilisent la simulation pour comparer les performances des deux stratégies présentées en termes de durées moyennes d'ouverture des salles d'opération et de la SSPI. Les résultats obtenus font apparaître que la stratégie «salles d'opération-SSPI» permet une diminution de 2% sur la durée d'ouverture des salles d'opération et de la SSPI, ce qui est peu significatif en terme de gain de productivité.

¹⁰ La plus grande date d'achèvement des interventions.

Certes, la dépendance technologique facilite la résolution de ce problème, mais elle limite la performance du programme opératoire. Admettons qu'une intervention chirurgicale soit achevée dans une première salle d'opération et que le lit de la SSPI qui lui est associé soit occupé à la fin de l'intervention alors qu'il existe un autre lit de la SSPI qui est libre : on est obligé de bloquer le patient dans la salle d'opération jusqu'à la disponibilité du premier lit.

D'autres travaux récents ont porté sur l'exploitation du bloc opératoire avec l'objectif de réduire les coûts. Dexter [Dexter, 2000] examine la décision de changer l'ordonnancement prévisionnel pour la dernière intervention d'une salle d'opération dans un objectif de diminuer les coûts des heures supplémentaires. Dexter et Macario [Dexter et Macario, 1999] utilisent la simulation pour voir si une petite réduction des durées opératoires peut permettre d'affecter une intervention supplémentaire à une salle d'opération durant les heures régulières d'ouverture. Centeno [Centeno *et al.*, 2001] prône l'utilisation de la simulation afin de formuler des recommandations basées sur des stratégies de programmation opératoire qui permettent de maximiser l'utilisation des salles d'opération et du personnel et de déterminer le nombre de salles d'opération.

Nous avons également énuméré quelques travaux qui ont abordé le problème du dimensionnement de la SSPI en nombre de lits de réveil.

Dans [Schmitz et Kwak, 1972] [Kwak *et al.*, 1975] [Kwak *et al.*, 1976] [Schmitz *et al.*, 1978] [Kuzdrall *et al.*, 1981], les auteurs proposent d'utiliser la simulation pour la gestion du planning des ressources matérielles dans un service de chirurgie et plus particulièrement pour déterminer le nombre de lits nécessaires en salle de réveil. L'objectif est de déterminer la stratégie de planification la plus appropriée pour diminuer les temps de fonctionnement de la salle de réveil. Il existe deux types de chirurgie : les chirurgies mineures et les chirurgies majeures qui sont réparties sur douze catégories d'interventions chirurgicales. En fonction de cette classification, cinq stratégies sont simulées. Les résultats de simulation montrent que l'ordonnancement des interventions chirurgicales influe significativement sur les périodes de fonctionnement des salles de réveil. En utilisant une stratégie de planification, il est possible de réaliser une réduction de 21% de la période de fonctionnement de la salle de réveil. Pour chacune des stratégies, le nombre de lits nécessaires en salle de réveil a été déterminé, avec comme contrainte : à chaque fin d'intervention, le patient nécessitant un séjour en salle de réveil doit trouver un lit disponible.

Combes [Combes, 1994] étudie, pour un exemple de modèle de charge, l'impact de trois stratégies de gestion des interventions sur le nombre de lits nécessaires en SSPI ainsi que sur les durées d'ouverture du bloc opératoire et de la SSPI. Les résultats montrent que le nombre de lits nécessaires dépend de la stratégie de gestion adoptée.

Combes [Combes, 2001] utilise la simulation à événements discrets pour dimensionner la SSPI en nombre de lits. La règle de gestion des interventions est : Premier Arrivé, Premier Servi aussi bien au niveau des salles d'opération qu'au niveau des lits de réveil. Pour 5 salles d'opération, l'auteur observe qu'en moyenne 10 lits sont nécessaires en SSPI.

Marcon et Kharraja [Marcon et Kharraja, 2002a] présentent une étude exploratoire sur la stratégie de dimensionnement de la SSPI en nombre de lits de réveil dans un objectif d'améliorer les performances productives et économiques du bloc opératoire. En effet, l'indisponibilité d'un lit de la SSPI engendre le réveil du patient dans la salle d'opération et donc augmente le temps improductif du bloc. Les auteurs présentent un modèle dynamique de fonctionnement du bloc opératoire et de la SSPI qui permet, dans un premier temps, la construction d'un programme opératoire prévisionnel. Dans un deuxième temps, il s'agit de simuler les flux du bloc et de la SSPI

dont le flux d'entrée est celui donné par le programme opératoire prévisionnel, pour des nombres de lits en SSPI différents.

Dussauchoy [Dussauchoy *et al.*, 2003] présente l'apport de la simulation à événements discrets pour l'étude du fonctionnement d'un bloc opératoire et plus particulièrement son dimensionnement en nombre de salles d'opération et de lits de réveil en fonction des différents modèles de charges (ils déterminent le nombre de lits de réveil nécessaires pour 5 salles d'opération, puis pour 6 salles d'opération). Par ailleurs, les auteurs constatent qu'un ordonnancement de type LPT (les interventions dont les durées opératoires sont les plus importantes sont traitées en premier) permet de diminuer l'amplitude des durées d'ouverture de la SSPI et des salles d'opération.

Nous pouvons constater que les travaux portant sur la construction du programme opératoire considèrent soit une approche centrée sur les salles d'opération, soit une approche centrée sur l'ensemble salles d'opération-SSPI. Dans le cas d'une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération, une bonne qualité du programme opératoire suppose un dimensionnement adéquat du nombre de lits et d'infirmières de la SSPI et du nombre de brancardiers par rapport au nombre de salles d'opération.

Dans quelques travaux, la construction du programme opératoire comporte deux étapes :

- une étape d'affectation des interventions ou des chirurgiens aux salles d'opération,
- une étape d'ordonnancement ou de séquençage des interventions dans chaque salle d'opération.

Cette démarche de résolution réduit la complexité du problème. Toutefois, il n'est pas toujours sûr de trouver une solution au problème d'ordonnancement sans faire recours aux heures supplémentaires. Afin de contourner ce type de problèmes, Marcon et Kharraja [Marcon et Kharraja, 2002b] proposent soit d'accepter dans la phase de planification des contraintes qui assureront l'existence d'une solution d'ordonnancement (par exemple un chirurgien ne peut opérer que sur une salle d'opération chaque jour); soit de mettre en place une procédure bouclée qui va itérer jusqu'à proposer une planification admettant un ordonnancement.

Dans d'autres travaux, la construction du programme opératoire se réalise en une phase unique d'ordonnancement qui combine affectation et séquençage.

Les objectifs considérés dans la construction d'un programme opératoire sont principalement de type socio-économique : minimiser les coûts d'attente, minimiser les heures supplémentaires, équilibrer la charge entre les différentes salles d'opération. Les hypothèses et les contraintes considérées peuvent être différentes d'un modèle à un autre. Toutefois, certaines d'entre elles se répètent dans pratiquement tous les modèles tels que les contraintes de capacité finie des ressources. Cette différence entre les modèles peut être expliquée, d'une part, par les différences organisationnelles qui peuvent exister entre les établissements hospitaliers. D'autre part, dans un objectif de réduire la complexité du problème, certaines contraintes sont relaxées et des hypothèses peuvent être postulées.

Ces approches ne considèrent pas le lien entre date d'hospitalisation et date d'intervention alors que la majorité des interventions chirurgicales (environ 80%) se réalisent dans le cadre d'un séjour hospitalier. Elles supposent ainsi que les lits d'hospitalisation et de réanimation sont convenablement dimensionnés. Cette hypothèse n'est pas toujours évidente. Dans quelques hôpitaux, les admissions peuvent être arrêtées pendant quelques jours à cause d'indisponibilité de lits d'hospitalisation [Vissers, 1998] [Kusters et Groot, 1996].

3.5. Planification des lits dans les soins intensifs

Nous avons noté des travaux qui ont étudié le problème de la planification des lits dans l'unité de soins intensifs. Les lits de cette unité représentent une ressource rare et coûteuse de l'hôpital, ce qui explique l'intérêt qui lui a été particulièrement porté. Néanmoins, ce problème nous semble en partie annexe à celui de la planification des admissions que nous avons abordé dans le paragraphe 3.1. En effet, certains patients dont l'état est grave sont souvent admis dans les services de soins intensifs.

Ridge [Ridge *et al.*, 1998] décrit un modèle de simulation pour la planification des capacités en lits dans les unités de soins intensifs. Le modèle résume les caractéristiques essentielles d'une unité de soins intensifs « virtuelle » équipée d'un certain nombre de lits « virtuels » et permettant aux patients « virtuels » d'arriver, de séjourner et de partir selon des taux déterminés à partir d'un historique de l'activité de l'unité de soins intensifs considérée. Dans ce modèle, les patients urgents sont toujours prioritaires. Si aucun lit n'est disponible, le patient urgent est transféré vers un autre service de soins intensifs. Si le patient n'est pas un cas urgent, il est admis dans les soins intensifs lorsqu'il y a quelques lits libres sinon son admission est reportée. Néanmoins, ce dernier reste plus prioritaire que les prochains patients non urgents sur la demande d'un lit dans les services de soins intensifs. Le modèle de file d'attente le plus proche est celui de type : $M_i/M/S/NPRP/\infty/\infty$.

L'expérimentation du modèle montre qu'il existe une relation non linéaire entre le nombre de lits dans l'unité de soins intensifs et le pourcentage des patients urgents à transférer vers d'autres unités en raison de l'indisponibilité d'un lit. Ce pourcentage tend asymptotiquement vers zéro si on augmente largement le nombre de lits dans l'unité de soins intensifs. Par ailleurs une augmentation du nombre de lits dans l'unité engendre une diminution du taux d'occupation. Le modèle permet également de prévoir le nombre de lits disponibles à tout instant de la journée. Les auteurs remarquent que le temps d'ajournement des patients planifiés n'a aucune influence sur le pourcentage des patients urgents transférés vu que la règle d'ajournement utilisée n'est pas issue d'une politique d'ordonnancement réactif qui tient compte des besoins courants et espérés. Aussi, l'idée de réserver des lits pour les cas urgents uniquement augmente considérablement les cas de report de patients planifiés alors qu'elle réduit de façon très modeste le pourcentage de patients urgents transférés dans d'autres unités de soins intensifs.

Dans [Kim *et al.*, 1999] [Kim *et al.*, 2000] [Kim et Horowitz, 2002], différents aspects de la gestion de l'unité de soins intensifs ont été abordés.

[Kim *et al.*, 1999] comporte une analyse des processus d'admissions et de sorties de patients dans une unité de soins intensifs. La figure 6 montre les différentes origines des flux de patients candidats à un lit dans l'unité de soins intensifs. Une admission dans l'unité de soins intensifs dépend principalement :

- des attributs du patient : degré de gravité de sa maladie, âge, durée de séjour prévue et évolution probable de sa santé,
- de l'état de l'unité de soins : lits disponibles et possibilités de sortie de patients.

La saturation de l'unité peut causer l'annulation d'interventions programmées quand le patient ne présente pas d'urgence particulière.

Les auteurs utilisent la simulation pour explorer différentes performances de l'unité de soins intensifs (la probabilité qu'un patient soit accepté sans attente, les taux de rejet, ...), et ce en considérant une file d'attente de type $M/M/s$ multi-serveurs à l'état stationnaire.

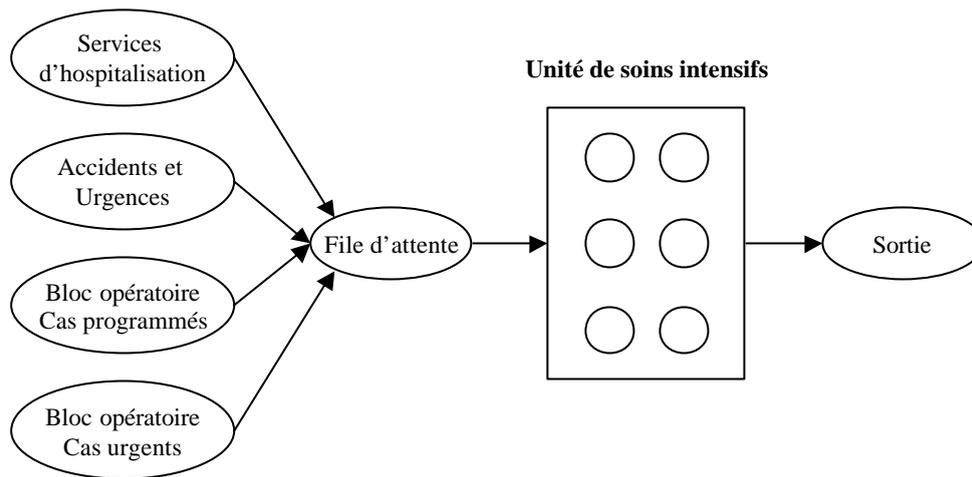


Figure 6 : Modèle général d'une unité de soins intensifs [Kim *et al.*, 1999]

Afin de minimiser l'annulation d'interventions programmées en raison de l'indisponibilité de lits dans l'unité de soins intensifs, les auteurs proposent d'examiner l'idée de réserver un nombre de lits de cette unité pour la prise en charge de ce type de patients [Kim *et al.*, 2000]. En effet, l'annulation d'une intervention nécessite de la reprogrammer, ce qui met le patient dans un état psychologique inconfortable. Les auteurs exposent deux formes de réservation : (1) une unité de soins intensifs rattachée au service de chirurgie (DICU) ; (2) une allocation flexible de lits de l'unité de soins intensifs pour les chirurgies programmées.

Les auteurs utilisent la simulation pour évaluer cinq stratégies d'allocation flexible de lits dans les soins intensifs :

1. Aucune réservation de lits (c'est la stratégie courante),
2. Réservation exclusive d'un nombre de lits pour les interventions programmées,
3. Les lits réservés pour les interventions programmées sont ouverts pour admettre des patients accidentés et urgents les vendredis et les samedis,
4. Les lits réservés pour les interventions programmées sont ouverts pour admettre tous les types de patients les vendredis et les samedis,
5. Les lits réservés pour les interventions programmées accueillent aussi des interventions urgentes durant la semaine.

L'unité de soins intensifs est modélisée comme une file d'attente multi-serveurs parallèles. La loi d'arrivée est une loi de Poisson, le temps de service suit une loi exponentielle sauf pour les patients programmés du bloc opératoire. Le temps de service de ces derniers est une somme pondérée de trois lois Gamma (chaque loi représente une catégorie de patients en fonction de leur délai de séjour dans l'unité de soins intensifs).

Une réservation exclusive d'un nombre de lits pour les interventions programmées réduit remarquablement le nombre d'interventions annulées, pour une attente supplémentaire de 1.2 heures. Une allocation flexible de lits de l'unité de soins intensifs pour les interventions programmées présente plusieurs avantages devant DICU. Elle permet une grande flexibilité dans l'utilisation des ressources (comme les médecins et les infirmières) sans coûts supplémentaires. D'un autre côté, le nombre de lits réservés peut changer en fonction de la demande dont l'allure montre des aspects de saisonnalité.

Comme les interventions régulières sont programmées à l'avance, Kim et Horowitz [Kim et Horowitz, 2002] examinent si un système de quotas journaliers défini sur une période d'une ou de deux semaines permettrait d'améliorer la performance de l'unité de soins intensifs. Désormais,

l'ordonnancement des interventions pour lesquelles le patient nécessite un séjour dans l'unité de soins intensifs tiendra compte de ce système de quotas. Un couplage entre le système de quotas et une allocation flexible de lits de l'unité de soins intensifs permettant de réserver un nombre de lits pour des patients dont une intervention a été programmée peut réduire remarquablement le nombre d'interventions annulées. Dans un premier temps, les auteurs considèrent des quotas fixes sur tous les jours de la semaine de 1, 2 et 3 chirurgies régulières par jour. Un quota d'une chirurgie par jour pour un ordonnancement sur 2 semaines permet de réduire le nombre d'annulations de 23% par rapport au système courant. La simulation montre qu'une combinaison d'un quota d'une chirurgie par jour et d'un nombre de trois lits réservés aux chirurgies programmées réduit de 55% le nombre d'interventions annulées. Dans un deuxième temps, les auteurs considèrent des quotas variables sur les jours de la semaine. Ils ont testé la performance du cas d'un quota de 2 pour les lundis et les vendredis et d'un quota de 1 pour les mardis, les mercredis et les jeudis (il est rare de programmer une intervention pendant le week-end). Les quotas variables réduisent légèrement le nombre d'annulations et le temps d'attente dans le cas d'une programmation des interventions sur l'horizon d'une semaine. Toutefois, un système de quotas variables améliore ces performances d'une façon plus significative lorsqu'on considère des horizons de programmation plus importants.

Kapadia [Kapadia *et al.*, 2000] utilise une approche markovienne dans l'objectif d'estimer la durée de séjour des patients et l'évolution de leur état de santé. Les auteurs considèrent le cas d'une unité de soins intensifs en pédiatrie. Ils définissent trois états de santé possibles du patient : bas, moyen et haut. Ils représentent la sortie du patient comme un état « absorbant ». Ils vérifient que dans 75% des cas, l'évolution du patient d'un état à un autre ne dépend pas du temps. Ainsi ils considèrent une matrice de transition constante. Après validation du modèle, les auteurs soulignent les avantages que peut présenter ce dernier dans l'estimation du besoin en ressources puisque chaque état de santé du patient définit un niveau de consommation de celles-ci.

Les flux de patients qui sollicitent l'unité de soins intensifs sont hétérogènes : des flux de patients programmés et des flux de patients aléatoires (venant de l'urgence). Cette hétérogénéité est à l'origine des difficultés rencontrées dans la gestion de cette unité. Il nous semble ainsi important de réfléchir au moyen de rendre compatibles ces deux types de flux en identifiant la stratégie de gestion qui permet de satisfaire au plus la demande, d'éviter le blocage du système, sans pour autant conduire à une sous-utilisation de cette ressource « coûteuse ».

3.6. Planification d'autres ressources au sein de l'hôpital

Kao [Kao, 1974] propose d'étudier la dynamique des patients de cardiologie à travers les différentes zones d'activités de l'hôpital, à l'aide d'un modèle semi-markovien. Par rapport à ses travaux antérieurs ([Kao, 1973]), où l'état d'un patient était défini par un ensemble spécifique de demandes de soins dirigées par son état de santé, il considère à présent une définition des états basée seulement sur l'unité de soins dans laquelle le patient réside. Ainsi, il considère un processus stochastique gérant le mouvement des patients de cardiologie d'une unité de soins (assimilé à un état) vers une autre. Chaque fois qu'un patient entre dans une unité i , la prochaine unité j visitée est déterminée par une probabilité de transitions p_{ij} . Le cheminement des patients est représenté par un modèle markovien dont la matrice des probabilités de transition P est constituée de l'ensemble $\{p_{ij}\}$. Lorsque le patient quitte l'hôpital, l'auteur associe à la chaîne de Markov un état absorbant.

De plus, cet article présente une approche permettant de construire le modèle de charge (distribution des arrivées des patients) à partir des données empiriques concernant les admissions. L'auteur suppose que les arrivées des patients en cardiologie par jour suivent une distribution de Poisson. Lorsque le service est saturé (plus de place dans l'unité de cardiologie), les patients sont redirigés

vers une autre unité de soins. Dans la théorie des files d'attente, le modèle de base est un système de perte : arrivée poissonnienne / service suivant une loi générale / s serveurs sans aucune attente. Ce modèle de charge permet de prévoir, de planifier et de contrôler le nombre de patients à traiter journalièrement.

Davies [Davies *et al.*, 1975] montre qu'une chaîne de Markov à état absorbant est bien adaptée à la modélisation du processus de traitement des patients souffrant d'une insuffisance rénale chronique. L'application d'une telle approche dans deux hôpitaux anglais a permis d'évaluer leurs politiques de traitement d'une manière plus objective et d'examiner l'impact d'un changement de ces politiques dans le futur.

Davies et Roderick [Davies et Roderick, 1998] se sont intéressés à l'étude des processus de traitements des patients souffrant d'une insuffisance rénale dans une dimension plus large : le Royaume Uni. Ils proposent d'utiliser la simulation à événements discrets pour estimer le nombre de patients qui auront besoin de ce type de traitements dans les années à venir ainsi que les équipements nécessaires pour satisfaire cette demande. Cette étude est motivée par les coûts importants de ce type de prise en charge ainsi que par la croissance de la demande. Les auteurs s'intéressent particulièrement aux patients qui auront besoin d'une transplantation rénale. Deux cas se présentent : (1) le patient est en phase avancée de la maladie et a besoin d'une transplantation dans les plus brefs délais ; (2) le patient peut attendre encore en recevant un traitement de dialyse (hémodialyse ou dialyse péritonéal ambulatoire continue). Le modèle de simulation utilise les modèles markoviens, les modèles semi-markoviens et les tableurs. Les auteurs soulignent le rôle important de la simulation dans l'évaluation du nombre de patients en attente et des flux de patients. Ainsi, la simulation permet de montrer comment le nombre de patients ainsi que l'utilisation de ressources varient dans le temps.

Korabick [Korabick, 1978] a étudié le fonctionnement d'un centre de dialyse en utilisant la simulation aléatoire à événements discrets. Les objectifs de cette étude étaient de :

- contrôler et minimiser les coûts de revient des séances de dialyse (coût de fonctionnement de l'unité de soins),
- proposer une meilleure utilisation du personnel soignant en minimisant les temps d'inoccupation,
- éliminer les heures supplémentaires dues à une mauvaise planification des séances,
- déterminer les besoins en équipements aussi bien en nombre qu'en type d'appareils,
- établir la charge journalière du système et équilibrer celle-ci en prenant en compte les pauses du personnel.

Diverses stratégies de gestion et de planification des patients (gestion des rendez-vous) sur les postes de dialyse ont été étudiées, afin d'atteindre les objectifs.

Iskander [Iskander, 1989] a développé un modèle de simulation d'un service médical d'urgence, unité mobile équipée pour assurer les premiers soins aux victimes d'accidents, leur transport vers l'hôpital ou toute réanimation urgente. Le but de l'auteur est de fournir à la direction hospitalière un outil d'aide à la planification des interventions effectuées par les pelotons composant cette unité. Ce modèle prend en compte la planification et la gestion des équipements d'urgence, du personnel et les activités réalisées. Le fonctionnement de cette unité est le suivant :

- réception des appels téléphoniques,
- attribution d'un véhicule avec les équipements appropriés et le personnel qualifié,
- offrir des soins de première urgence au patient sur place,
- transport du patient jusqu'à l'hôpital,
- retour de l'équipe d'intervention d'urgence à sa base.

Les données en entrée du modèle de simulation sont des données empiriques issues de la base de données de l'hôpital. Les critères de performance étudiés sont :

- les temps de réponse des appels téléphoniques (attente au standard, temps mis pour enregistrer l'appel et affecter un peloton d'intervention),
- les temps mis pour se rendre sur les lieux d'appel,
- le temps d'attente de la disponibilité d'une ambulance,
- le nombre d'appels téléphoniques servis et pris en compte par un peloton d'intervention,
- le nombre de transports inter-hospitaliers réalisés par les pelotons d'intervention,
- le taux d'utilisation des véhicules pour chaque peloton.

Différents scénarios ont été testés sur le modèle afin de voir leur impact sur l'efficacité d'un tel système. Les scénarios ont consisté à faire varier le nombre de pelotons, à réallouer les véhicules et à changer le niveau de formation du personnel.

Combes [Combes, 1994] a étudié les effets d'une augmentation brutale de la charge sur le comportement des systèmes de production de soins au niveau d'un service d'accueil des urgences d'un centre hospitalier. L'objectif est de fournir à la direction hospitalière des critères de performances qui leur permettront de déduire des seuils sous lesquels les valeurs obtenues deviennent inacceptables pour la sécurité des patients (qualité des soins, conditions de travail ...).

L'auteur considère que chaque traitement est composé d'une ou plusieurs opérations élémentaires imposées par la pathologie. Un patient peut recevoir un ou plusieurs traitements. Les patients sont classifiés en catégories selon les opérations élémentaires applicables à chacune. Ce classement doit tenir compte également du degré d'urgence.

Les hypothèses du modèle utilisé sont :

- le pourcentage d'arrivée des catégories de patients est fonction des tranches horaires de la journée,
- le modèle de charge (temps entre deux arrivées par tranche horaire) est augmenté par pas de 5 % jusqu'à doubler la charge (différentes augmentations de la charge),
- l'arrivée des patients suit un processus de poisson dont le taux varie en fonction des tranches horaires,
- les patients ayant un rendez-vous pour le service d'imagerie médicale arrivent tous les quarts d'heure de 8h à 19h sans interruption,
- les ressources humaines sont allouées par tranche horaire,
- les matrices de probabilités de transitions de soin à soin ont été déterminées par catégorie de patients.

Ce modèle de simulation stochastique a permis d'observer la réactivité de ce système et son comportement face à une augmentation importante de la charge. Différents critères de performance ont été étudiés tels que le temps d'attente à la radio, le temps moyen d'attente pour accéder à la salle de soins intensifs, le nombre moyen de pansements confectionnés journalièrement, le taux d'occupation du personnel soignant (respectivement médecins et infirmiers), le temps moyen de séjour par catégorie de patients, la durée moyenne des soins dispensés. Cependant, ce modèle ne tient pas compte des pauses et de l'absence des employés, il considère que lorsque le patient quitte une salle de soins, celle-ci est prête pour en accueillir un autre.

Gascon [Gascon *et al.*, 1992] aborde le problème de l'ordonnancement des transporteurs à l'hôpital. L'objectif de cette étude est de comparer les performances du système de distribution actuel avec un deuxième système qui tend à réduire au maximum le nombre de chariots. Les auteurs listent les différentes tâches à accomplir par les transporteurs. Pour chaque tâche, il faut préciser : la fenêtre de temps pendant laquelle elle doit être réalisée, une durée, un lieu de début et un lieu de fin. Les critères de performances sur lesquelles sera basée l'évaluation des deux systèmes de distribution sont :

- le nombre de transporteurs et de magasiniers nécessaires pour le système,
- la charge du travail des transporteurs et des magasiniers,
- l'espace du magasin de stockage.

Pour la résolution de ce problème, les auteurs proposent une heuristique simple, en deux étapes :

- trier les tâches par ordre croissant des dates de fin au plus tard, à valeurs égales de ces dates, trier par ordre décroissant des durées des tâches, à valeurs égales de ces durées, trier par ordre croissant des dates de début au plus tôt.
- affecter la première tâche restante au premier transporteur libre.

L'expérimentation a montré que ce nouveau système permet de réduire l'espace de stockage, évidemment le nombre de chariots circulants ainsi que le nombre de magasiniers. Toutefois, il n'est pas encore confirmé qu'on peut réduire le nombre de transporteurs.

Dans [Michelon *et al.*, 1993], ce même problème a été résolu en utilisant une heuristique basée sur la méthode Tabou. L'expérimentation a confirmé que la méthode Tabou améliore considérablement la solution mais pour un temps de calcul 100 fois plus important que celui obtenu dans la première heuristique. Néanmoins, les auteurs préfèrent la deuxième.

Gonzalez-Martinez [Gonzalez-Martinez *et al.*, 1997] propose un système automatique d'ordonnancement de ressources (ARSS) dans un service d'urgence. Ce système comporte les fonctionnalités suivantes :

- la prévision de la demande au moyen de modèles statistiques et d'un historique de données sur l'activité,
- la mise à jour des temps techniques tels que les durées opératoires,
- l'ordonnancement des interventions,
- le suivi des activités afin d'alimenter l'historique et estimer les écarts entre prévisions et réalisations,
- les rapports d'activités.

Il s'agit d'un système pouvant suivre en temps-réel ce système de production de soins grâce à l'utilisation de cartes magnétiques, de système de codes barres et d'interfaces graphiques pour la communication homme-machine. Les cartes magnétiques permettent d'identifier le patient dans le système, les codes barres informent sur les consommables.

Les laboratoires d'analyse ont besoin d'un système de production flexible permettant de faire face aux aspects aléatoires liés à l'arrivée de la demande. En effet, la demande pour certaines analyses n'est pas toujours prévisible [Van Merode *et al.*, 1998].

Merode [Van Merode *et al.*, 1995] développe un système d'aide à la décision dans les laboratoires cliniques (DSS). Les objectifs de ce système sont la planification et le contrôle des analyses ainsi que l'utilisation des ressources aussi bien humaines que matérielles. Les auteurs prônent la décomposition du laboratoire en un certain nombre de stations de travail et donc son organisation comme un job-shop. Les caractéristiques de ces stations de travail sont :

- les dates au plus tard de livraison doivent être impérativement respectées,
- l'existence de plusieurs classes de services caractérisées par la durée des analyses demandées,
- l'arrivée d'ordres à n'importe quel moment,
- le personnel peut travailler sur plusieurs stations à la fois, par exemple un opérateur peut lancer un processus sur une station de travail A puis lancer un processus dans une station B puis retourner de nouveau à la station de travail A.

Les auteurs proposent un programme mathématique où la demande est supposée déterministe dans un objectif de minimiser l'inoccupation des techniciens, ce qui est équivalent à minimiser le temps

de travail des techniciens dans le laboratoire. Ensuite, les auteurs reprennent le même modèle en essayant d'introduire l'aspect stochastique de la demande.

Dans ces modèles les auteurs n'ont pas tenu compte du niveau de compétence des techniciens. Intégrer cet aspect diminue la liberté de la planification puisque chaque technicien ne peut réaliser qu'un ensemble d'analyses défini conformément à sa compétence. Toutefois, le modèle d'optimisation permettra de trouver une solution en un temps raisonnable.

3.7. Synthèse et conclusion

Dans le tableau 1, nous avons présenté une synthèse de l'état de l'art décrit ci-dessus. Cette synthèse fait apparaître que les modèles utilisés sont majoritairement des modèles mathématiques et des modèles de simulation.

Les modèles mathématiques présentent l'avantage d'obtenir des résultats exacts ou approchés rapidement et pour un faible coût d'exploitation sur ordinateur. Cependant, la modélisation mathématique nous amène à faire des hypothèses simplificatrices, souvent trop restrictives, limitant ainsi les champs d'application du modèle et augmentant la difficulté à représenter des phénomènes réels. Aussi, il est délicat d'utiliser les modèles mathématiques pour représenter des systèmes complexes n'ayant pas forcément un état stationnaire.

La simulation reproduit le fonctionnement d'un système à partir d'une abstraction de la réalité. Elle permet ainsi d'aider à comprendre le fonctionnement et le comportement de systèmes, mais aussi d'évaluer l'impact de différentes décisions. Cet avantage est plus pressenti dans le cas de systèmes complexes comme ceux de production de soins. Toutefois, elle ne permet pas de répondre à un besoin d'optimisation.

Problème étudié	Références	Type du modèle & Méthode de résolution
Planification des admissions	<ul style="list-style-type: none"> - [Kao, 1973] - [Hanckock <i>et al.</i>, 1984] - [Kusters et Groot, 1996] - [Theo De Vries et Beekman, 1998] - [Guinet et Chaabane, 2003b] 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle semi-markovien - Simulation - Modèles statistiques - Modèle mathématique - Programmation en nombres entiers (0-1)
Planification des rendez-vous en consultation externe	<ul style="list-style-type: none"> - [Klassen et Rohleder, 1996] - [Swisher <i>et al.</i>, 2001] 	<ul style="list-style-type: none"> - Ordonnancement & Simulation - Simulation à événements discrets
Planification des lits dans les soins intensifs	<ul style="list-style-type: none"> - [Ridge <i>et al.</i>, 1998] - [Kim <i>et al.</i>, 1999] - [Kim <i>et al.</i>, 2000] - [Kim et Horowitz, 2002] - [Kapadia <i>et al.</i>, 2000] 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle de file d'attente & Simulation - Modèle de file d'attente & Simulation - Modèle markovien
Dimensionnement et allocation des lits d'hospitalisation	<ul style="list-style-type: none"> - [Kao et Tung, 1981] - [Huang, 1998] - [Dumas, 1984] - [Vassilacopoulos, 1985] - [Vissers, 1994] - [Vissers, 1998] - [Iversen, 2000] 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle de file d'attente & Simulation - Modèle de file d'attente & Simulation - Simulation - Simulation - Modèle mathématique - Modèle de file d'attente
Gestion des plannings infirmiers	<ul style="list-style-type: none"> - [Siferd et Benton, 1992] (revue de la littérature) - [Kumar et Kapur, 1989] - [McHugh, 1989] - [Heus, 1996] - [Jaumard <i>et al.</i>, 1998] 	<ul style="list-style-type: none"> - Programmation en nombres entiers et mixtes, Ordonnancement cyclique - Simulation - Simulation - Programmation par contraintes - Programmation linéaire généralisée (génération de colonnes & graphe avec contraintes de ressources)
Planification d'autres ressources humaines (médecins)	<ul style="list-style-type: none"> - [Bradi et Hollingsworth, 1992] - [Brauner <i>et al.</i>, 2003] 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation - Modèle de réécriture & Modèle de recherche opérationnelle

Programmation opératoire	<ul style="list-style-type: none"> - [Marcon et Kharraja, 2002b] (revue de la littérature) - [Blake <i>et al.</i>, 2002] - [Dexter <i>et al.</i>, 1999a] - [Dexter <i>et al.</i>, 1999b] - [Kharraja et Marcon, 2003] - [Marcon <i>et al.</i>, 2001a] - [Marcon <i>et al.</i>, 2001b] - [Guinet et Chaabane, 2003b] - [Rossi-Turk, 2002] - [Kharraja <i>et al.</i>, 2002] 	<ul style="list-style-type: none"> - Programmation en nombres entiers - Simulation - Ordonnancement & Méthodes heuristiques - Programmation mathématique en nombres entiers & Méthode heuristique - Modélisation mathématique par satisfaction de contraintes & Simulation - Programmation mathématique en nombres entiers (0-1) & Méthode heuristique & Ordonnancement - Méthode MRP II & Approche multicritère & Programmation mathématique en nombres entiers (0-1) & Ordonnancement - Programmation mathématique en nombres entiers & Ordonnancement & Méthode heuristique & Simulation
Exploitation du bloc opératoire	<ul style="list-style-type: none"> - [Dexter, 2000] - [Dexter et Macario, 1999] - [Centeno <i>et al.</i>, 2001] 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle d'aide à la décision basé sur les coûts - Simulation - Simulation
Dimensionnement de la SSPI	<ul style="list-style-type: none"> - [Schmitz et Kwak, 1972] - [Kwak <i>et al.</i>, 1975] - [Kwak <i>et al.</i>, 1976] - [Schmitz <i>et al.</i>, 1978] - [Kuzdrall <i>et al.</i>, 1981] - [Combes, 1994] - [Combes, 2001] - [Marcon et Kharraja, 2002a] - [Dussauchoy <i>et al.</i>, 2003] 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation - Simulation - Programmation mathématique en nombres entiers & Simulation - Simulation
Planification dans les centres de dialyse	<ul style="list-style-type: none"> - [Davies <i>et al.</i>, 1975] - [Davies et Roderick, 1998] - [Korabick, 1978] 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle markovien - Modèle markovien & Simulation - Simulation
Planification dans les services d'urgence	<ul style="list-style-type: none"> - [Iskander, 1989] - [Combes, 1994] - [Gonzalez-Martinez <i>et al.</i>, 1997] 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation - Simulation - Ordonnancement & Contrôle temps-réel
Planification des transporteurs	<ul style="list-style-type: none"> - [Gascon <i>et al.</i>, 1992] - [Michelon <i>et al.</i>, 1993] 	<ul style="list-style-type: none"> - Ordonnancement & Méthode heuristique - Ordonnancement & Méta-heuristique (méthode Tabou)

Planification dans les laboratoires d'analyse	- [Van Merode <i>et al.</i> , 1995] [Van Merode <i>et al.</i> , 1998]	- Programmation mathématique déterministe et stochastique
Planification des patients de cardiologie	- [Kao, 1974]	- Modèle markovien

Tableau 1 : Synthèse des problèmes de planification et d'affectation de ressources posés en milieu hospitalier

En analysant l'ensemble des travaux existant dans le domaine, nous avons essayé de situer l'intérêt et les limites des approches et méthodes utilisées.

- Les lits d'hospitalisation, les lits de réanimation, le bloc opératoire et les infirmiers sont souvent évoqués comme des ressources critiques dans les systèmes de soins. Cependant, dans la majorité des cas, les auteurs considèrent dans la planification et l'affectation l'une de ces ressources, sans considérer les autres. Quelques auteurs ont considéré une partie de ces ressources ; mais dans la planification, ils les ont traitées de façon indépendante.
- La planification utilise d'une façon prépondérante une approche de gestion centrée sur l'une des ressources considérée comme la ressource critique du système de soins. Cependant, l'utilisation d'autres ressources critiques dans le processus de prise en charge du patient, considérées initialement à capacité infinie, l'oblige parfois à passer plusieurs jours à l'hôpital dans l'attente de soins ou d'exams pour lesquels ces ressources ne sont pas réellement disponibles.
- L'idée d'utiliser des outils statistiques est intéressante puisqu'elle permet de tenir compte de quelques aspects aléatoires du système de soins. Toutefois, il arrive parfois des imprévus qui n'ont pas été pris en compte. Nous pensons par exemple à la programmation opératoire. Comment réagir s'il arrive, durant la journée, des cas urgents non programmés et non prévus statistiquement : les accepter ou les refuser ? Et sur quels critères faut-il baser cette décision ?
- Les systèmes de soins dans leur ensemble posent des problèmes analogues. Toutefois, les différences organisationnelles et stratégiques entre les établissements font qu'il n'est pas toujours facile de transposer des travaux réalisés d'un hôpital à un autre.
- La mise en place d'un système d'information constitue un pré-requis de la planification et de l'affectation des ressources. En effet, c'est le moyen permettant de constituer un historique suffisant de données indispensables pour l'aide à la décision. Désormais, la conception et le développement de systèmes d'informations est un domaine qui se développe de plus en plus dans le secteur de santé en vue de faire évoluer les systèmes de soins, entre autres, en termes d'organisation et de gestion.
- Les méthodes de planification et d'affectation dans le domaine de la santé constituent une aide à la décision qui ne se substituerait pas à l'expertise des acteurs du terrain, mais plutôt, qui leur permettrait d'argumenter et de valider leurs décisions. La décision finale reste entre leurs mains.

A l'issue de cette analyse, nous souhaitons amorcer une réflexion sur les types d'approches de gestion (en termes de planification et d'affectation de ressources) adaptées aux systèmes de production de soins afin :

- d'améliorer la performance du système de production de soins en termes :
 - d'utilisation des ressources notamment celles reconnues comme ressources « rares »,
 - de qualité de soins assurée au patient,
 - de maîtrise des coûts et des délais de soins quoique ces deux critères soient liés.
- de tenir compte des différents aspects aléatoires qui peuvent venir perturber toute décision prévisionnelle concernant le système de production de soins. Certains de ces aspects peuvent être représentés statistiquement. Toutefois, d'autres aspects restent difficiles à évaluer d'avance. Par exemple, les aspects humains liés à la nature de « la cible », le patient, peut rendre aléatoire le contrôle des processus de production (par exemple cas de co-morbidité) et rend ainsi indispensable la mise en place d'un système de pilotage temps-réel de la production qui permette de réagir à l'occurrence de ce type de situation.
- d'améliorer la fiabilité du processus décisionnel, en d'autres termes, d'améliorer la probabilité qu'une décision incluse dans ce processus soit sans erreur et sans retard [Léste et Vittorio, 1997]. En effet, les différents aspects aléatoires peuvent induire des erreurs au niveau de la décision recherchée. Minimiser les risques d'erreur revient d'une part, à identifier les instants opportuns de prise de décision et d'autre part, à ménager une marge de manœuvre suffisante pour réagir face aux aléas. Cependant, laisser une réserve de flexibilité et rechercher la « productivité » peuvent s'opposer. En effet, la réserve ne doit pas engendrer une sous-utilisation des ressources notamment celles qui sont rares.

Nos interrogations sont les suivantes,

- Quelles ressources doit-on considérer dans la planification d'un système de production de soins ? Nous rappelons qu'ici, nous nous intéressons à une planification et à une affectation de ressources à court et à moyen termes. Plus précisément nous pensons à la planification des admissions qui peut s'étendre sur un horizon moyen terme et à l'affectation, à l'ordonnancement et au séquençement des ressources afin de satisfaire un besoin à court terme.
- Quels processus et niveaux décisionnels doit-on adopter afin de répondre aux différents besoins et objectifs du système de production de soins en termes de planification et d'affectation de ressources ? Et comment garantir la cohérence de ce processus ?
- Quelles méthodes et techniques permettront la mise en œuvre de ce processus ? Quels enseignements peut-on tirer des expériences en système de production de biens au profit des systèmes de production de soins ?

Dans ce qui suit, nous allons présenter une approche de gestion centrée sur le processus de soins que doit suivre le patient. En précisant les niveaux décisionnels que nous considérons dans la planification et l'affectation de ressources, nous allons montrer comment cette approche « processus » contribue à satisfaire les objectifs attendus.

4. Notre approche

Notre approche comporte deux volets :

- un volet descriptif qui permet de comprendre et d'analyser le processus de soins que doit suivre le patient. Cette description détaille aussi bien le sous-système physique que le sous-système logique permettant la réalisation du processus de soins. Elle précise aussi les données nécessaires à la description du processus selon une dimension temporelle (par exemple temps nécessaire à la réalisation du processus) et une dimension productive (par exemple délai moyen d'attente du processus, différentes perturbations).
- un volet décisionnel qui précise d'une part, les différents niveaux de la décision et d'autre part, le processus global qui doit permettre la cohérence de celle-ci. La différence entre deux niveaux de décision consiste dans l'horizon et dans la période de planification qui, par ailleurs, dépendent du niveau de détail dans lequel sera considéré le processus de soins. En effet, le processus de prise en charge global, lui même, peut être décomposé en plusieurs « sous-processus » de soins qui décrivent les étapes de prise en charge.

4.1. Une approche centrée sur le processus de soins

La bibliographie montre l'utilisation prépondérante d'une approche de gestion centrée sur une ressource « goulot » du système de soins. Les ressources souvent évoquées comme ressources « goulot » du système hospitalier sont les lits d'hospitalisation, les lits de réanimation, le bloc opératoire et les infirmiers. Quelques auteurs reconnaissent une partie de ces ressources comme ressources « goulot » du système de soins ; mais dans la planification, ils les ont traitées d'une façon indépendante.

Toutefois, les objectifs de la planification et de l'affectation prévisionnelles ne sont pas atteints dès lors qu'il existe des ressources critiques qui n'ont pas été prises en compte. Le patient est donc obligé d'attendre la disponibilité des ressources critiques qui n'ont pas été considérées pour pouvoir être pris en charge. Il sera ainsi contraint parfois de passer plusieurs jours dans l'hôpital dans l'attente de soins ou d'exams pour lesquels ces ressources ne sont pas disponibles.

L'alternative que nous proposons consiste à utiliser une approche de gestion centrée sur le processus de soins que doit suivre le patient dans l'objectif de minimiser son délai de séjour dans l'hôpital et les coûts des soins offerts dans le respect de la qualité du service rendu. Une telle approche nous semble pertinente dans le cas des systèmes de soins pour lesquels l'attente des patients hospitalisés pour certains soins est remarquablement importante. Par ailleurs, un jour de plus à l'hôpital génère une augmentation des coûts de l'hospitalisation et influe négativement sur la santé (risque d'infections nosocomiales, état psychologique du patient...).

Par ailleurs, une approche de gestion centrée sur le processus de soins que doit suivre le patient offre une meilleure vision du système de soins et permet de mieux atteindre les objectifs de la planification et de l'affectation prévisionnelles. Cependant, elle est difficile à mettre en œuvre étant donnée la complexité du problème de la planification et de l'affectation lorsque nous considérons toutes les ressources « goulot » utilisées dans le processus de soins. A notre sens, ce dernier point doit expliquer l'utilisation prépondérante, jusqu'ici, dans la planification et l'affectation, d'une approche de gestion centrée sur une seule ressource « goulot » du système de soins.

Cette approche se base sur une analyse des différentes étapes ou activités composant le processus prévisionnel de soins que doit suivre le patient. Une étape ou activité du processus (par exemple une étape chirurgicale) est un enchaînement d'opérations de soins ayant lieu dans un même service

hospitalier. Désormais, une étape du processus de prise en charge peut être vue comme un « sous-processus » du processus global.

Chaque opération de soins désigne en réalité un protocole thérapeutique. Tout protocole de soins est précis et met en jeu de diverses manières le personnel, les locaux, le matériel, etc. Il ne s'applique cependant pas forcément de manière totalement automatique, dans la mesure où les patients ont tous leurs spécificités. Toutefois, nous supposons connaître avec précision, pour chaque protocole thérapeutique, les ressources utilisées, les contraintes qui s'exercent, de même que les règlements en vigueur à prendre en compte. Un exemple d'opération de soins dans l'activité chirurgicale est l'anesthésie.

Chaque opération de soins utilise des ressources aussi bien humaines que matérielles selon un mode d'intervention [Jebali *et al.*, 2001] qui exprime la dépendance d'intervention des ressources dans une opération. Néanmoins, cette dépendance doit être représentée à l'échelle de l'activité s'il existe des contraintes de précédence entre les opérations qui la composent.

Une particularité des systèmes de production de soins réside dans le mode d'intervention des ressources, aussi bien matérielles qu'humaines, nécessaires pour l'exécution d'une opération de soins. Il s'agit d'une intervention en parallèle ou en série de toutes les ressources, mais le cas le plus général est un mixage des deux modes avec différents chevauchements dans le temps.

Chaque opération de soins est représentée par l'ensemble des ressources nécessaires à son exécution, par les temps d'immobilisation de chaque ressource dans l'opération ainsi que son mode d'intervention et par la durée entre le début de l'opération et le début d'intervention (ou d'utilisation) de la ressource dans l'opération. En effet, une ressource nécessaire à la réalisation de l'opération de soins n'est pas forcément utilisée à l'instant de début de celle-ci. La figure 7 illustre une vue de l'opération de soins à partir des ressources qui y interviennent.

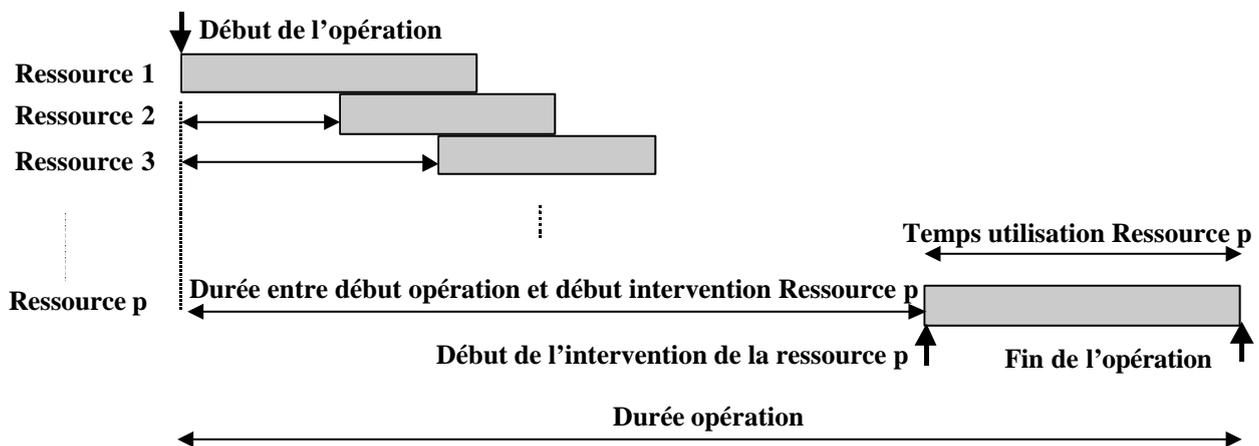


Figure 7 : Vue d'une opération de soins à partir des ressources qui y interviennent

Une opération de soins commence à être exécutée lorsque toutes les ressources nécessaires sont disponibles à l'instant de début de leur intervention. Par exemple, si une opération nécessite l'intervention d'une infirmière, d'un médecin et d'un plateau technique, celle-ci ne peut commencer, même si deux parmi ces ressources sont disponibles aux instants voulus. L'indisponibilité d'une seule ressource engendre ainsi l'attente du patient. Des contraintes de précédence peuvent exister entre les différentes opérations d'une activité de soins.

Toutefois, il nous semble illusoire en terme de complexité de vouloir tenir compte dans la planification et l'affectation de toutes les ressources utilisées dans l'opération ou l'activité de soins. Nous ne considérons que les ressources identifiées, par l'analyse, comme critiques.

Nous proposons de représenter un processus de soins selon deux vues :

- **Une vue globale** montrant la logique d'enchaînement des activités et/ou des opérations composant le processus.
- **Une vue « ressources »** détaillant l'utilisation des ressources critiques dans le processus ou dans l'activité de soins.

Ainsi, une approche par processus pour la planification et l'affectation des ressources nécessite :

- une reconnaissance du processus à considérer dans la planification et/ou l'affectation,
- une reconnaissance des activités qui composent ce processus, des opérations qui constituent chaque activité, des ressources critiques qui y interviennent et des contraintes de précédences qui peuvent exister entre les différentes opérations,
- une représentation du processus selon les deux vues : globale et « ressources »,
- une prévision du processus de soins que doit suivre le patient avec estimation de l'utilisation des ressources critiques et du cheminement entre activités de soins. Par ailleurs, cette prévision doit se baser sur des critères liés à l'état de santé du patient et à la pathologie désignée dans son dossier médical.

4.2. Les niveaux décisionnels

Nous nous intéressons à la planification et à l'affectation de ressources à court et à moyen termes. Plus précisément, nous pensons :

- à la planification des admissions qui peut s'étendre sur un horizon moyen terme. En effet, la planification des admissions permet de définir la charge du système de production de soins.
- à l'affectation, à l'ordonnancement et/ou au séquençage des ressources afin de satisfaire un besoin à court terme. Ici, différents horizons de temps peuvent être considérés selon le besoin et la précision de la décision recherchée. Ainsi, une planification à court terme peut comporter différents niveaux décisionnels où chaque niveau considère un horizon de temps approprié.
- au pilotage temps-réel du système de production de soins dans un objectif d'aider le système de production de soins à réagir devant des aléas très importants, nécessitant de repenser la décision prévisionnelle.

4.3. Champs de l'étude : Etude d'un processus de soins comportant une étape chirurgicale

Vu la grande variété de processus de prises en charge qu'on peut rencontrer dans un système hospitalier, nous avons opté pour l'étude d'un processus de soins bien particulier : un processus de soins passant par un service de chirurgie. En effet, ce type de processus représente une bonne partie des cas d'hospitalisation. Le coût que représente le bloc opératoire et les attentes importantes qu'il génère justifient également ce choix.

Afin d'explorer le milieu hospitalier et d'analyser ce type de processus de soins, nous avons effectué un stage dans le service de chirurgie générale « Beau Séjour » de l'hôpital Charles Nicolle à Tunis. Ce service inclut une unité d'hospitalisation, une unité de soins intensifs et deux blocs opératoires : un bloc opératoire de type aseptique et un bloc opératoire de type septique. Une description détaillée de ce service et de son fonctionnement est fournie dans [Jebali, 2002].

Par ailleurs, ce travail de thèse est partie prenante du projet HRP (Hospital Resource Planning), Planification des Ressources Hospitalières, soutenu par la Région Rhône-Alpes. Dans ce projet, des partenaires [Guinet et Chaabane, 2001] se sont intéressés à la description du processus opératoire (le processus de réalisation d'une intervention chirurgicale) dans le service de chirurgie générale de l'hôpital de la Croix-Rousse à Lyon.

En terme de processus opératoire, nous avons noté que ces deux systèmes de production de soins sont pratiquement similaires. Toutefois, en terme de gestion administrative du patient et des ressources, des différences peuvent exister entre les deux systèmes.

L'approche que nous proposons sera illustrée dans les cas de processus de soins passant par un service de chirurgie générale.

4.4. Illustration de notre approche sur un processus de soins comportant une étape chirurgicale

Dans ce paragraphe, nous allons illustrer notre approche sur un processus de soins comportant une étape chirurgicale. Nous considérons le processus global qui commence par l'hospitalisation du patient et finit lorsque le patient quitte le système de soins. Nous souhaitons également appliquer pour ce cas d'étude les outils, les modèles et les méthodes que nous adopterons ou développerons pour les différents niveaux décisionnels proposés. Cette première illustration est plutôt à but descriptif. Elle détaille uniquement les activités de soins. Au fur et à mesure que nous avancerons, nous enrichirons ce cas avec les détails nécessaires à aborder les niveaux décisionnels.

4.4.1. Représentation d'un processus de soins comportant une étape chirurgicale

- Vue globale d'un processus de soins passant par la chirurgie

Après consultation chirurgicale et anesthésique basée sur un diagnostic préopératoire complet, la décision d'opérer un patient est prise. Dans ce cas, le processus de soins qui inclut l'acte chirurgical débute avec la date d'hospitalisation (voir l'organigramme donné par la figure 8). Dans ce cas de processus de soins, nous admettons une hospitalisation d'une journée avant intervention.

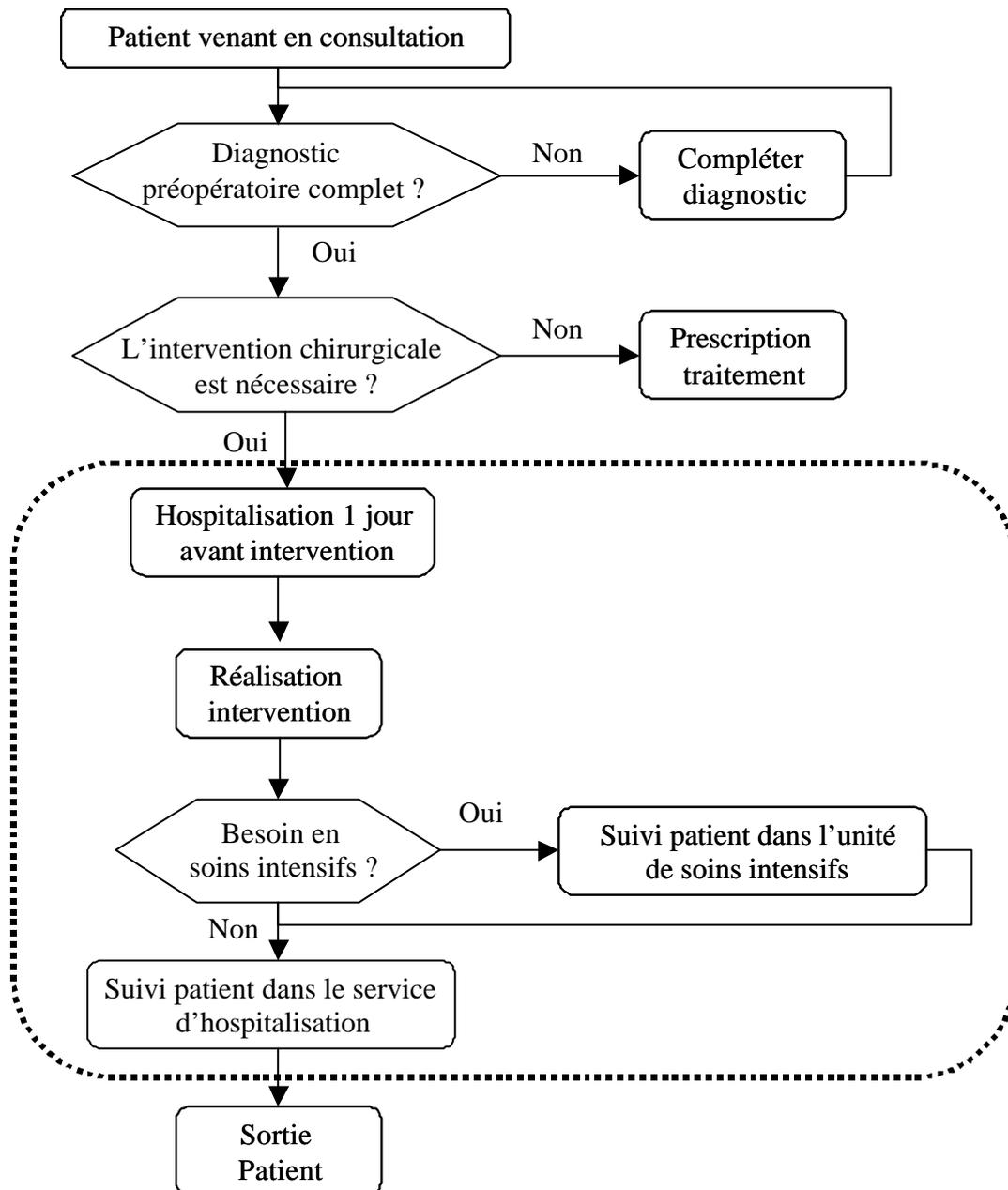


Figure 8 : Vue globale d'un processus de soins passant par la chirurgie

- *Vue « Ressources » d'un processus de soins passant par la chirurgie*

Selon le système de production de soins considéré, les ressources critiques dans un processus de soins incluant un acte chirurgical doivent être identifiées. Dans notre cas, un processus de soins incluant un acte chirurgical suppose que trois ressources critiques soient considérées : les lits d'hospitalisation, les lits de réanimation et le bloc opératoire.

Nous supposons que le nombre d'infirmiers, d'aides-soignants et de médecins est bien dimensionné par rapport au nombre de lits d'hospitalisation et de réanimation. Toutefois, si le nombre d'infirmiers ou de médecins est insuffisant par rapport au nombre de lits d'hospitalisation ou de réanimation, il faut les considérer comme ressources critiques et les intégrer dans la vue « ressources » du processus ou ne considérer que le nombre de lits pour lesquels tous les soins infirmiers et médicaux sont garantis pour tout patient admis.

Le bloc opératoire comporte des salles d'opération et une salle de soins post-interventionnelle équipée de lits de réveil. Néanmoins, l'ouverture du bloc opératoire n'est conditionnée que par l'ouverture des salles d'opération. L'ouverture d'une salle d'opération durant une journée est autorisée par la disponibilité de toutes les ressources humaines et matérielles nécessaires à l'activité chirurgicale.

Dans la figure 9, nous avons représenté la vue « ressources » d'un processus de soins comportant une étape chirurgicale ainsi que les données temporelles permettant de décrire ce processus en termes d'utilisation des ressources critiques pour un patient i . Cette vue n'est autre qu'un diagramme de Gantt.

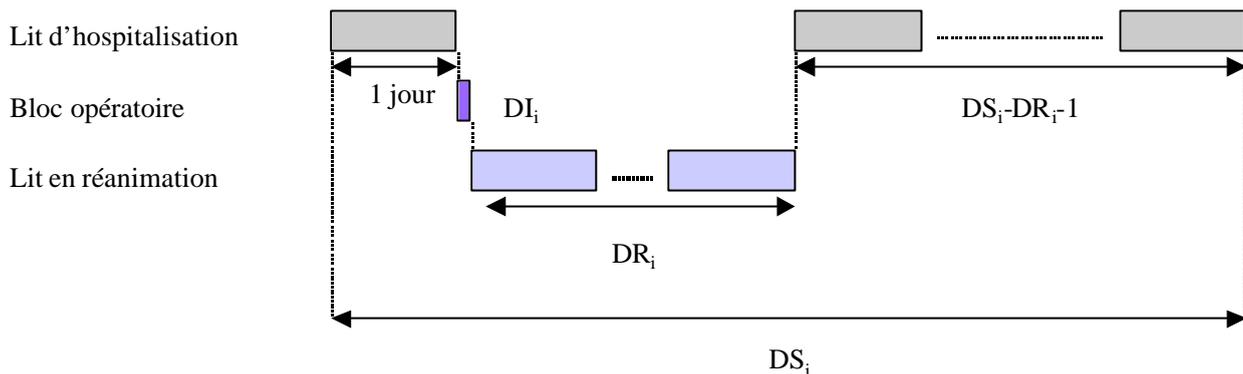


Figure 9 : Vue « ressources » d'un processus de soins passant par la chirurgie

DS_i représente la durée de séjour prévue pour le patient i .

DI_i représente la durée prévue comme durée d'utilisation de la salle opératoire par le patient i .

DR_i représente la durée de séjour prévue en réanimation pour le patient i (si la prise en charge du patient i ne prévoit pas un séjour en réanimation, $DR_i=0$).

Pour un patient i donné, venant en consultation et pour lequel une décision d'intervention chirurgicale a été concertée, les trois données, DS_i , DI_i et DR_i sont estimées à partir de son diagnostic préopératoire.

4.4.2. Niveaux décisionnels considérés

Notre approche porte sur quatre niveaux hiérarchiques de la décision :

- Une planification des admissions : elle doit fixer les dates d'hospitalisation des patients pour une intervention chirurgicale. L'horizon de planification peut s'étendre sur quelques mois (il dépend de la capacité en ressources critiques du système de production de soins considéré ainsi que des pathologies traitées).
- Une construction du programme opératoire sur un horizon de T jours : il s'agit de fixer les interventions à réaliser durant chaque jour sur l'horizon de T jours ainsi que les ressources qui seront employées. L'horizon d'une semaine est celui généralement adopté dans les blocs opératoires mais d'autres horizons plus importants peuvent être aussi considérés [Rossi-Turk, 2002]. Ce programme opératoire doit confirmer les admissions. Ainsi, l'horizon considéré ici constitue l'horizon de décision de la planification des admissions. En effet, c'est la programmation opératoire qui va permettre de préciser les admissions. L'idéal est de trouver une solution qui permet de confirmer toutes les admissions planifiées.

- Une construction du programme opératoire journalier : l'objectif est de mettre à jour le programme opératoire établi au niveau de décision précédent en intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu dans le système de soins tel que le report d'interventions à cause de la prise en compte de cas urgents.
- Un pilotage temp-réel du bloc opératoire : il s'agit d'orienter la décision du responsable du bloc opératoire lorsqu'un aléa important se produit.

Afin de prendre en compte les aspects aléatoires du système de production de soins qui ne sont pas pris en compte par les modèles statistiques, nous proposons un processus dynamique de décision. Un tel processus permet de réactualiser les données déjà connues et d'introduire de nouvelles informations au fur et à mesure de leur disponibilité. Ceci est intéressant dans un environnement perturbé comme celui de l'hôpital puisque le système est alors en mesure de réagir aux aléas passés. Un tel processus est mis en œuvre en adoptant une procédure de planification à horizon glissant ou par l'adoption d'outils pour la mise à jour de la décision en l'occurrence d'aléas.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté différents aspects du problème de la planification et de l'affectation de ressources posés dans les systèmes de production de soins ainsi que différents travaux de recherche effectués sur ce sujet. Désormais, la planification et l'affectation des ressources en milieu hospitalier constituent un champ d'investigation scientifique très important expliqué par le besoin du milieu de disposer d'outils d'aide à la décision sur ce point.

A partir d'une analyse de l'état de l'art, nous avons noté l'utilisation prépondérante d'une approche de gestion centrée sur l'une des ressources, considérée comme ressource critique du système de soins. Ainsi, les objectifs de la planification et de l'affectation prévisionnelles ne sont pas atteints dès lors qu'il existe des ressources critiques qui n'ont pas été prises en compte. L'alternative que nous proposons consiste à utiliser une approche par processus permettant de repérer et de considérer l'ensemble des ressources critiques intervenant dans le processus de prise en charge du patient. Cette approche a été illustrée sur le cas d'étude retenu : un processus de soins passant par la chirurgie. Par ailleurs nous avons proposé quatre niveaux décisionnels que nous allons aborder selon une approche par processus.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation du problème de la planification des admissions pour lequel nous proposons une méthode qui intègre les deux premiers niveaux décisionnels décrits ci-dessus. Dans le quatrième chapitre, nous abordons le problème de la construction du programme opératoire journalier. Dans le cinquième chapitre, nous décrirons un système de pilotage temps-réel dont l'objectif est d'aider les responsables du bloc opératoire à réagir face à l'arrivée d'un aléa nécessitant de repenser la décision prévisionnelle. Néanmoins, nos travaux ne peuvent être conduits sans poser les limites de leur applicabilité. Ainsi, l'ensemble des modèles et méthodes que nous allons proposer, seront évalués sur le cas d'étude retenu.

Chapitre 3 : La planification des admissions

Dans ce chapitre, nous présentons une méthode pour la planification des admissions basée sur le processus de soins que doit suivre le patient.

1. Introduction

Planifier les admissions dans un système hospitalier consiste à répondre autant que faire se peut à la demande de soins étant donnée la capacité finie des ressources tant humaines que matérielles. La planification doit permettre aussi bien une optimisation de l'utilisation des ressources rares que la satisfaction d'une demande de soins de plus en plus exigeante.

Dans ce chapitre, nous abordons le problème de la planification des admissions selon une approche basée sur la prévision du processus de soins que doit suivre le patient. Nous commençons par présenter quelques pratiques de planification des admissions couramment utilisées dans les systèmes de soins dans un objectif de situer l'intérêt et les limites de chacune d'elles. Nous proposons ensuite d'explorer une méthode pour l'aide à la planification des admissions que nous recommandons particulièrement aux services de soins sujets à l'occurrence de situations parfois complètement imprévisibles (telle que l'arrivée d'un nombre important de cas urgents).

Comme nous l'avons énoncé dans le chapitre précédent, cette étude sera illustrée sur le cas d'un processus de soins passant par un service de chirurgie générale. En effet, environ 80% des interventions chirurgicales sont réalisées dans le cadre d'un séjour hospitalier¹¹ [Marcon et Kharraja, 2002b]. Le coût que représente le bloc opératoire et les attentes importantes qu'il génère justifient également ce choix.

2. Quelques pratiques de planification des admissions

A partir des travaux qui ont traité le problème de la planification des admissions dans les systèmes hospitaliers, nous avons identifié deux pratiques couramment utilisées :

- la planification des admissions dans un système hospitalier consiste à sélectionner les patients à prendre en charge à partir d'une liste d'attente en tenant compte des possibilités d'admissions de cas urgents et de la disponibilité des ressources [Haas, 1984] [Kusters et Groot, 1996].
- la planification des admissions dans un système hospitalier consiste à préciser au patient une date d'hospitalisation dès que la décision d'hospitalisation est concertée par les médecins responsables. Par exemple, pour le processus de soins comportant une étape chirurgicale, dès que chirurgien et médecin anesthésiste/réanimateur se prononcent sur la nécessité d'une intervention chirurgicale, une date d'hospitalisation est proposée au patient pour son intervention [Guinet et Chaabane, 2003a] [Dexter *et al.*, 1999a].

Ces deux pratiques sont mises en œuvre par deux procédures différentes concernant la communication d'une date d'hospitalisation au patient :

- le patient est enregistré dans une liste d'attente, une date lui sera communiquée dès que possible,
- une date sera fournie au patient dès lors qu'une hospitalisation s'avère nécessaire.

Les deux procédures utilisent des outils différents dans la planification des admissions. La première présente l'avantage d'avoir plus de temps pour choisir la date d'admission du patient et donc elle s'oriente plus vers la recherche d'une solution « optimale » par rapport aux objectifs. Cependant, elle suppose une procédure de prise de contact avec le patient afin de lui communiquer sa date d'hospitalisation. La deuxième consiste en une recherche « on-line » d'une date d'hospitalisation. La difficulté dans cette procédure est de communiquer une date certaine au patient, qui ne risque

¹¹ Environ 20% des interventions sont réalisées dans un centre de chirurgie ambulatoire.

pas d'être annulée alors qu'on ne maîtrise pas les prochaines demandes, leur état d'urgence ainsi que différents autres imprévus.

Pouvoir réagir face à l'occurrence d'événements imprévisibles fait penser à la nécessité de ménager une marge de manœuvre et de conserver une réserve suffisante de moyens d'actions. Cette réserve constitue ce qu'on appelle le « potentiel de flexibilité » dans lequel on puisera pour réagir aux différents imprévus pouvant perturber une décision prévisionnelle [Erol, 1999].

Dans les services de soins, nous avons énuméré quelques potentiels de flexibilité :

- Les heures supplémentaires de travail,
- Une réserve de capacité pour la prise en charge de patients urgents,
- Une orientation de plus en plus vers la mutualisation des plateaux techniques et la polyvalence des ressources humaines.

Toutefois, ces différents leviers de flexibilité interviennent à différents niveaux : la mutualisation des plateaux techniques et la polyvalence des ressources humaines représentent un choix stratégique ; réserver une capacité pour la prise en charge de patients urgents est une décision tactique qui doit être prise en compte dans la planification des admissions ; faire appel à des heures supplémentaires est plutôt une décision opérationnelle.

Comme nous nous intéressons à la planification et à l'affectation de ressources à court et à moyen termes, nous considérons qu'il est possible de faire appel aux heures supplémentaires permises par la législation et dans la planification des admissions il faut étudier la capacité à réserver afin d'insérer les cas urgents. Toutefois, les heures supplémentaires coûtent cher aux systèmes de soins. Par ailleurs, sur-estimer la capacité à réserver pour les cas urgents engendre des pertes de capacité et donc une sous-utilisation de ressources rares alors que sous-estimer cette capacité peut réduire le champ de flexibilité du système.

Néanmoins, devant l'arrivée d'un nombre de cas urgents dont la prise en charge nécessite une capacité en ressources supérieure à celle qui est disponible, la question qui se pose est la suivante : « comment procéder si une telle situation se présente ? »

Désormais, la réponse à cette question revient à faire le choix entre deux alternatives :

- refuser l'admission de toute urgence¹² dès que la charge du système de soins atteint sa capacité maximale,
- accepter l'admission d'un cas urgent même si cette décision engendre une surcharge du système de soins. Cependant, cette admission n'est possible que si la surcharge peut être compensée en faisant appel aux heures supplémentaires de travail ou en reportant des interventions non urgentes ou encore en se permettant de retarder la date d'admission de patients qui ne sont pas urgents.

La première alternative met en avant le confort du patient qui ne représente pas un cas urgent puisqu'elle lui garantit une date d'hospitalisation fixe. Cependant, la deuxième alternative favorise un patient urgent devant un patient qui n'est pas urgent. En effet, la date d'hospitalisation de ce dernier « risque » d'être retardée afin de permettre la prise en charge d'un patient urgent.

Dans ce qui suit, nous allons proposer une méthode pour la planification des admissions permettant de fournir au patient une date d'hospitalisation dès lors que chirurgien et médecin anesthésiste/réanimateur s'accordent sur la nécessité d'une intervention. Dans cette méthode, nous

¹² L'urgence est donc réorientée vers un autre établissement de soins.

considérons le cas d'un système de soins qui choisit d'adopter la deuxième alternative proposée ci-dessus. Nous soulignons également l'intérêt et les limites de la méthode.

3. Une méthode pour la planification des admissions

La méthode que nous proposons illustre une approche centrée sur le processus de soins que doit suivre le patient. La date d'hospitalisation ou d'admission du patient est une date début du processus de soins à suivre. Dans cette approche, nous nous basons sur une prévision du processus de soins que doit suivre le patient. Cette prévision doit permettre de préciser pour le patient i , à partir de son diagnostic pré-opératoire, la valeur de trois paramètres DS_i , DI_i et DR_i utilisés dans la description de la vue «ressources» d'un processus de soins passant par la chirurgie (que nous avons présentée au paragraphe 4.4.1 du chapitre 2). Nous rappelons que dans ce processus, nous avons considéré trois ressources critiques : les lits d'hospitalisation, le bloc opératoire et les lits en réanimation.

DS_i représente le nombre de jours d'hospitalisation prévu pour le patient i .

DI_i représente la durée prévue (en minutes) comme durée d'utilisation de la salle opératoire par le patient i .

DR_i représente la durée de séjour (en jours) prévue en réanimation pour le patient i (si la prise en charge du patient i ne prévoit pas un séjour en réanimation alors $DR_i=0$).

3.1. Matrice de disponibilité résiduelle associée à un processus de soins

Nous définissons comme matrice de disponibilité résiduelle la matrice dont les éléments sont les disponibilités résiduelles des ressources critiques intervenant dans un processus de soins. Nous définissons comme disponibilité résiduelle d'une ressource sur une journée le temps disponible et qui peut être utilisé. Cette disponibilité est exprimée en unité de temps propre à son occupation. Par exemple, pour un lit d'hospitalisation ou de réanimation, l'unité de temps d'occupation est le jour alors que pour le bloc opératoire, l'unité de temps d'occupation est la minute.

La détermination d'une disponibilité résiduelle est fondée sur la notion de capacité en ressources. Nous considérons ici deux types de capacité en ressources : capacité réelle et capacité effective.

La capacité effective en ressources est la capacité réelle diminuée par le nombre d'unités de temps de cette ressource réservées pour les cas urgents. Toutefois, réserver une capacité de ressources pour un nombre de cas urgents peut être pénalisant si celle-ci est sur-estimée ; une sous-utilisation des ressources critiques est aussi coûteuse.

La capacité réelle du bloc opératoire est le nombre de minutes d'ouverture de l'ensemble des salles d'opération pendant une journée. Néanmoins, l'ouverture d'une salle d'opération suppose la disponibilité de toutes les ressources nécessaires à l'activité chirurgicale : chirurgien, infirmières chirurgicales (IBODE¹³), médecin anesthésiste/réanimateur, infirmières anesthésistes (IADE¹⁴), lit de réveil, consommables, Certaines de ces ressources peuvent représenter une ressource critique de l'activité chirurgicale, tels que les chirurgiens. Elles seront considérées plutôt au niveau d'une décision opérationnelle : la programmation opératoire.

[Kusters et Groot, 1996] ont proposé un modèle pour la détermination du temps à réserver pour les cas urgents. Ce modèle essaye de minimiser la sous-utilisation aussi bien que la sur-utilisation du

¹³ Infirmière du Bloc Opératoire Diplômée d'Etat.

¹⁴ Infirmière Anesthésiste Diplômée d'Etat.

bloc opératoire. Ce temps m a été déterminé à partir des coûts de sous et sur-utilisation du bloc opératoire (notés respectivement c_1 et c_2) ainsi que du paramètre I de loi exponentielle que suivent les temps opératoires des cas urgents : $m = -\frac{1}{I} \ln\left(\frac{c_1/c_2}{c_1/c_2+1}\right)$

Pour les lits d'hospitalisation ou de réanimation, nous proposons d'utiliser comme capacité effective, la capacité réelle diminuée par la capacité réservée à l'urgence très probable. Par exemple, nous déterminons «le nombre de cas urgents» ayant une probabilité d'arrivée, le jour t de la semaine, supérieure ou égale à 80%. Ce nombre, qui dépend du jour de la semaine [Kusters et Groot, 1996], est à déterminer à partir d'une analyse statistique d'un historique suffisant de données.

La matrice de disponibilité résiduelle (A) comporte ainsi trois lignes et H colonnes où H représente l'horizon de temps en jours où seront exprimées les disponibilités résiduelles des trois ressources critiques : lit d'hospitalisation, bloc opératoire et lit en réanimation (voir figure 10).

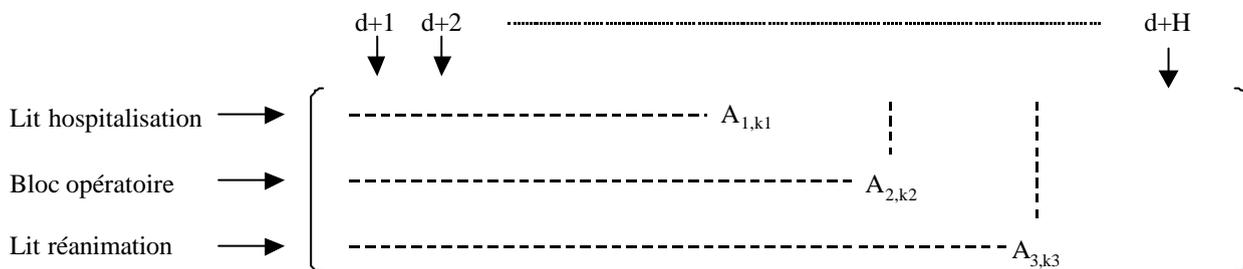


Figure 10 : La matrice de disponibilité résiduelle (A)

3.2. Description de la méthode de planification des admissions

La méthode que nous proposons permet de proposer au patient une date d'hospitalisation dès lors qu'une intervention vient d'être décidée. L'un des objectifs de cette méthode est de trouver une date d'hospitalisation la plus fiable possible. Toutefois, différents imprévus peuvent survenir à l'encontre des prévisions. En effet, même en ménageant une capacité de ressources pour avoir une marge de manœuvre par rapport à l'arrivée de cas urgents ou à l'occurrence de cas de co-morbidité, nous ne pouvons jamais avoir la certitude sur l'évolution de la charge du système de soins. Dans cette méthode, nous considérons le cas d'un système de soins qui favorise l'admission des patients urgents. Ainsi, il arrive que l'on retarde la prise en charge de patients programmés face à l'arrivée de cas urgents dont la prise en charge n'est pas possible autrement. Dans un processus de soins comportant une étape chirurgicale, retarder une prise en charge consiste par exemple à retarder des interventions chirurgicales programmées dans la journée pour une journée ultérieure. Néanmoins, penser à laisser une marge de manœuvre contribue à diminuer l'occurrence de ce type de situation indésirable.

La date d'hospitalisation qui sera proposée au patient en fin de consultation est une date « au plus tôt ». Cette date ne change pas si les potentiels de flexibilité (réserve de capacité pour les cas urgents, heures supplémentaires, ...) donnent au système de soins une marge de manœuvre suffisante pour réagir face aux différents aléas. Dès lors, cette date est confirmée au patient. Au cas où cette date ne peut être confirmée, une date ultérieure sera négociée avec le patient. Une date « au plus tard » d'hospitalisation, représentant l'attente maximale entre date de consultation et d'hospitalisation, tolérée par le système de soins, pourra également être fournie au patient. Ainsi, la date « au plus tôt » pourra être retardée, contrairement à la date « au plus tard ».

La date «au plus tôt» d'hospitalisation tient compte de la disponibilité résiduelle de toutes les ressources critiques nécessaires au processus de soins. Elle utilise donc la matrice de disponibilité résiduelle.

La figure 11 décrit les étapes de la méthode proposée. La première étape consiste à décider une date d'hospitalisation en concertation avec le patient. En effet, le patient peut exprimer le souhait d'être hospitalisé durant une période donnée. La deuxième étape consiste à confirmer une date d'hospitalisation au patient. Cette confirmation doit avoir lieu quelques jours avant la date d'hospitalisation afin de donner au patient le temps de se préparer. Le processus de confirmation suppose également une organisation assurant la communication avec le patient pour lui confirmer sa date d'hospitalisation. Afin d'évaluer la méthode proposée et d'essayer de l'améliorer au fil du temps, nous recommandons d'enregistrer les patients dont les dates d'hospitalisation fournies initialement n'ont pas été confirmées. Dans ce dernier cas, nous suggérons que la nouvelle date qui sera concertée avec le patient soit « figée ».

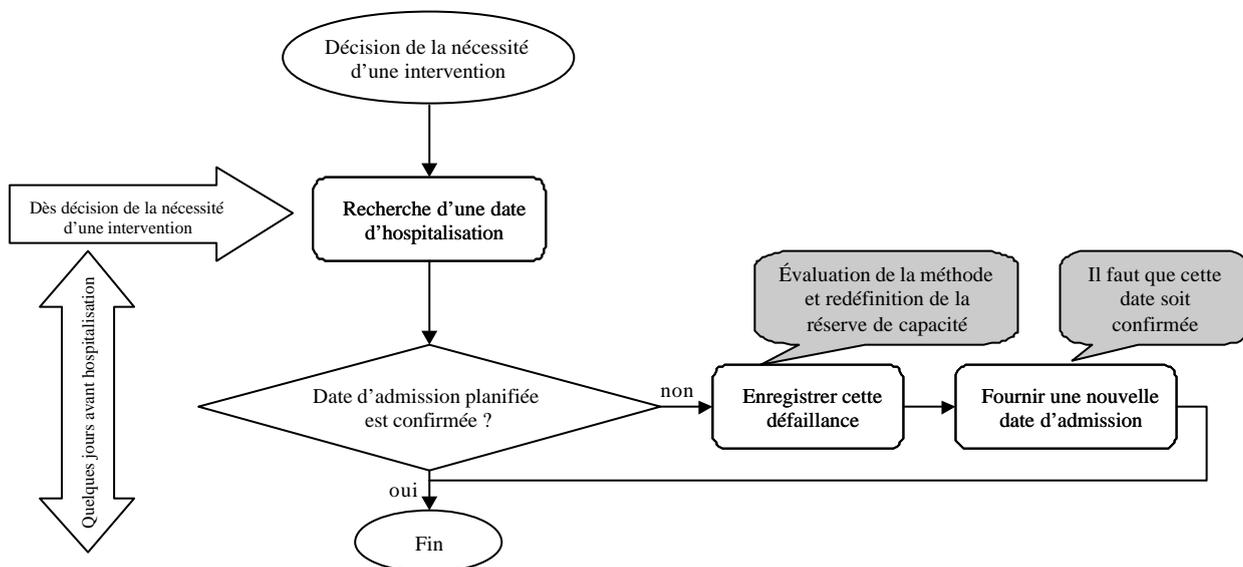


Figure 11 : Description des étapes de la méthode de planification des admissions

[Guinet et Chaabane, 2003a] ont abordé le même problème. Ils proposent un programme linéaire à variables entières pour fixer les dates des interventions non encore programmées en tenant compte de la disponibilité des lits d'hospitalisation. Cependant, la grande taille du problème en nombre de variables entières ne permet pas sa résolution par un solveur. Le modèle reconsidère à chaque fois toutes les interventions à programmer en même temps, une date d'intervention doit être fournie au patient en fin de consultation. Ainsi, le temps de calcul d'une solution nous semble un facteur déterminant pour les possibilités d'utilisation de cette méthode.

Nous proposons ici d'adopter plutôt une approche d'insertion qui tient compte du processus de soins que doit suivre le patient. La méthode respecte ainsi l'ordre d'arrivée des patients. Par ailleurs, elle tient compte de l'état du patient et de son souhait à être hospitalisé durant une période donnée.

Nous développons un algorithme pour la recherche d'une date d'hospitalisation à proposer au patient. L'algorithme utilise la matrice de disponibilité résiduelle des ressources critiques intervenant dans le processus de soins. Afin d'intégrer les aléas qui ont pu avoir lieu avant le début des consultations d'un jour donné, il semble nécessaire de mettre à jour la matrice de disponibilité

résiduelle. Cette actualisation permet d'améliorer la fiabilité de la date d'hospitalisation fournie au patient en fin de consultation.

La confirmation d'une date d'hospitalisation revient à fixer les dates d'hospitalisation pendant un nombre de périodes, dit horizon de décision [Camalot, 2000]. En pratique, cet horizon est souvent d'une semaine ou de deux semaines selon les établissements hospitaliers.

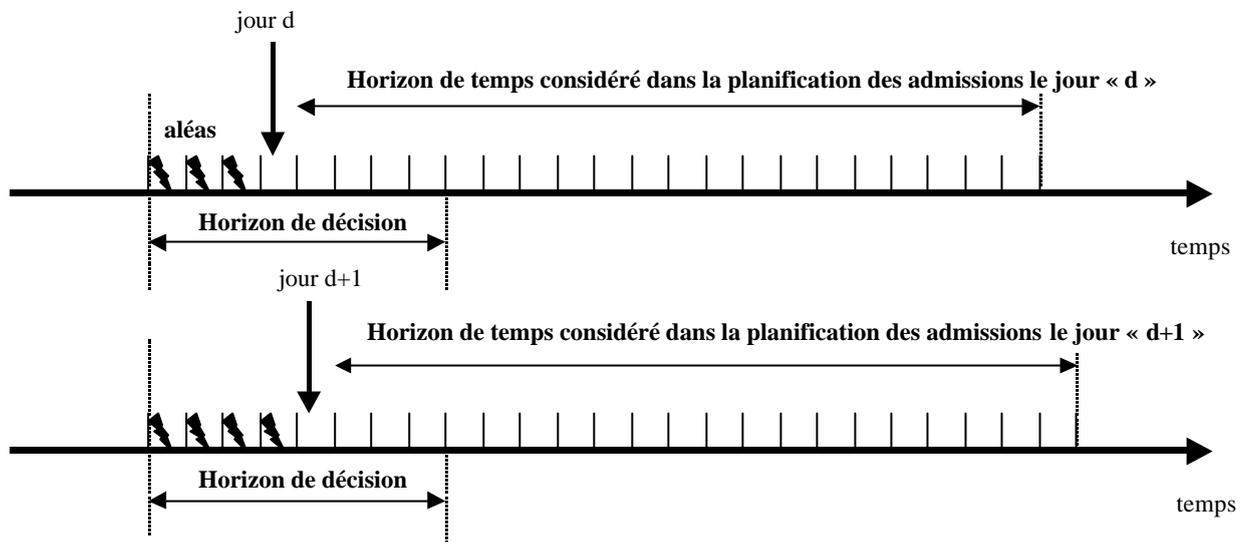


Figure 12 : Horizons temporels de la procédure de planification des admissions

Dans la figure 12, nous avons présenté les horizons de temps considérés dans la procédure décisionnelle de la planification des admissions. Cette procédure adapte le principe d'une approche de planification à horizon glissant. La particularité de ce problème de planification réside dans le fait que lorsqu'une date d'hospitalisation est confirmée, elle devient «figée» puisqu'il n'est plus possible de la changer. Toutefois, nous supposons qu'il est possible de reporter une intervention programmée le jour «d» à un jour ultérieur pour un environnement du bloc opératoire perturbé (introduction d'interventions urgentes non programmées, cas de co-morbidité). Ainsi, il est possible de modifier la date d'intervention d'un patient déjà hospitalisé ou dont la date d'hospitalisation a été confirmée. Néanmoins, reporter la date d'une intervention engendre des jours supplémentaires d'hospitalisation du patient et donc diminue la disponibilité des lits d'hospitalisation. Par ailleurs, cette décision doit être évitée au maximum parce qu'elle peut stresser le patient et l'exposer à de plus grands risques d'infection nosocomiale.

A ce point, il nous semble important de préciser la définition de l'horizon de décision ainsi considéré. En effet, deux types de décisions peuvent être prises en compte dans cette définition. L'horizon de décision peut désigner soit l'ensemble des périodes de temps (dans notre cas, une période correspond à un jour) pour lesquelles les admissions ont été confirmées, soit l'ensemble des périodes de temps pour lesquelles les interventions ont été planifiées.

Par ailleurs, ces deux horizons sont dépendants, dans notre étude, puisque nous supposons que tout patient programmé est hospitalisé un jour avant le jour de son intervention.

Toutefois, la décision d'admission est une décision «figée» dès confirmation au patient alors que la planification des interventions, en cas de nécessité, peut être remise en cause par d'éventuelles replanifications.

L'objectif dans la mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle est de prendre en compte la nature dynamique du système de soins en intégrant toutes les nouvelles informations concernant la charge réelle du système. La mise à jour peut ainsi consister à replanifier l'admission des patients pour lesquels la date d'hospitalisation n'a pas encore été confirmée. Elle peut également comprendre la replanification des interventions qui ont été planifiées durant l'horizon de décision mais qui ne sont pas encore réalisées. Cette replanification prend lieu dans le cas où il existe des interventions qui ont été reportées. Par ailleurs, nous supposons connaître à l'instant de mise à jour, les interventions à réaliser le jour suivant et ce, grâce à la construction du programme opératoire journalier.

La problématique de construction du programme opératoire journalier fera l'objet du chapitre suivant.

3.3. Recherche d'une date d'hospitalisation

Un patient i pour lequel la décision d'intervention est prise le jour d sera hospitalisé un jour k vérifiant $k \in [d+1, d+y]$ où « y » est l'attente maximale entre la date de consultation et la date d'hospitalisation tolérée par le système de soins. Nous considérons ainsi la matrice exprimant la disponibilité résiduelle des ressources critiques sur un horizon de $y+DS_i$ jours allant du jour $d+1$ au jour $d+y+DS_i$. A la demande du patient, l'hospitalisation peut être programmée à une date ultérieure à $d+y$, si son état de santé le permet.

Toutefois, l'attente maximale doit être bien estimée afin de toujours permettre une hospitalisation du patient dans la marge. Nous proposons l'utilisation de la valeur maximale de l'attente entre date de consultation et date d'hospitalisation notée dans les historiques (les patients ayant préféré la période de leur hospitalisation ne sont évidemment pas pris en compte dans la sélection).

La disponibilité résiduelle d'une ressource m pendant le jour k est déterminée en considérant sa capacité réelle lorsque le jour k est inclus dans l'horizon de décision, sinon elle est déterminée en considérant sa capacité effective.

Ici, nous avons considéré une attente maximale « y » identique pour tous les patients. Cependant, nous pouvons considérer l'attente maximale comme un paramètre estimé pour chaque patient à partir de son diagnostic. Ainsi, « y » correspond à une appréciation médicale sur la rapidité d'intervention en fonction de la gravité de la pathologie et des risques de complications.

3.3.1. Un algorithme de recherche d'une date d'hospitalisation

L'algorithme permet de décider avec le patient i , pour lequel une décision d'intervention vient d'être prise, une date d'hospitalisation r_i .

Si le patient i est un cas urgent alors son état de santé impose une hospitalisation entre les dates ru_i et du_i . Dans ce cas, r_i est une date d'hospitalisation «au plus tôt» possible dans l'intervalle $[ru_i, du_i]$. Par ailleurs, comme il s'agit d'un patient urgent, cette date sera considérée comme une date figée ; elle ne nécessite pas d'être confirmée.

Si le patient i exprime un souhait à être hospitalisé durant une période donnée $[rp_i, dp_i]$ alors r_i sera la première date d'hospitalisation possible entre les dates rp_i et dp_i .

Si le patient i n'est pas un cas urgent et n'a pas de préférence particulière quant à la période de son hospitalisation alors r_i est une date d'hospitalisation «au plus tôt» entre les jours $d+1$ et $d+y$, d étant le jour de consultation où il a été décidé de la nécessité d'une intervention.

Néanmoins, un jour entre rp_i et dp_i ou $d+1$ et $d+y$, appartenant à l'horizon de décision, n'est considéré que lorsque la disponibilité résiduelle en ressources dépasse la réserve de capacité destinée à la prise en charge de patients arrivant en urgence.

Si la date d'hospitalisation fournie au patient en fin de consultation est dans l'horizon de décision alors cette date ne nécessite pas d'être confirmée même si le patient n'est pas un cas urgent.

L'algorithme permet aussi de déterminer la date d'hospitalisation «au plus tard» du patient qui sera désignée par d_i .

Nous pouvons classer les contraintes considérées dans la recherche d'une date d'hospitalisation en deux catégories :

- Des contraintes fortes : ces contraintes doivent être impérativement respectées.
- Des contraintes molles : ces contraintes peuvent être négociées ou éventuellement relaxées.

L'algorithme respecte deux contraintes fortes du problème de la planification des admissions à savoir la disponibilité résiduelle des ressources critiques et la prise en compte de l'état d'urgence du patient i , imposant une hospitalisation entre les dates ru_i et du_i . Cependant, la contrainte découlant de la préférence d'un patient quant à la période de son hospitalisation est traitée comme une contrainte molle.

3.3.1.1. Notations

Dans l'algorithme, nous considérons les notations suivantes :

- L_u désigne la liste des triplets (i, r_i, d_i) où :
 - i représente l'identifiant d'un patient urgent.
 - r_i est la date d'hospitalisation qui a été communiquée au patient i en fin de consultation.
 - d_i est la date d'hospitalisation «au plus tard» du patient i .
- L_p désigne la liste des triplets (i, r_i, d_i) où :
 - i représente l'identifiant d'un patient qui n'est pas un cas urgent.
 - r_i est la date d'hospitalisation qui a été communiquée au patient i en fin de consultation, celle-ci est dans sa période préférée et elle n'est pas encore confirmée.
 - d_i est la date d'hospitalisation «au plus tard» du patient i .
- L_n désigne la liste des triplets (i, r_i, d_i) où :
 - i représente l'identifiant d'un patient qui n'est pas un cas urgent.
 - r_i est la date d'hospitalisation qui a été communiquée au patient i , r_i n'est pas dans une période proposée par le patient (soit le patient i n'a pas exprimé un souhait quant à la période de son hospitalisation, soit la charge du système de soins n'a pas permis de satisfaire le souhait du patient), r_i n'est pas encore confirmée.
 - d_i est la date d'hospitalisation «au plus tard» du patient i .
- L_{rev} désigne la liste des couples (i, r'_i) où :
 - i représente l'identifiant d'un patient dont la date d'hospitalisation r_i sera éventuellement retardée afin de rendre possible la prise en charge d'un cas urgent.

- r'_i représente la nouvelle date d'hospitalisation du patient i . C'est aussi la date d'hospitalisation du patient i à considérer dans le calcul de la matrice de disponibilité résiduelle.
- (A) étant la matrice de disponibilité résiduelle :
 - $A_{1,k}$ désigne la disponibilité résiduelle de la ressource « lit d'hospitalisation » le jour k .
 - $A_{2,k}$ désigne la disponibilité résiduelle de la ressource « bloc opératoire » le jour k .
 - $A_{3,k}$ désigne la disponibilité résiduelle de la ressource « lit réanimation » le jour k .
- $C_{réa}$ désigne le coût d'une journée d'hospitalisation en service de réanimation.
- C_{lh} désigne le coût d'une journée d'hospitalisation.
- C_{hblocc} désigne le coût d'une minute du bloc opératoire.

3.3.1.2. Algorithme de recherche d'une date d'hospitalisation

Pas 1 : Initialisation en fonction du type de patient en présence

/ Le compteur « l » permet de repérer le type du patient */*

/ Le compteur « k » désigne la date au plus tôt d'hospitalisation du patient */*

/ Le compteur « z » désigne la date au plus tard d'hospitalisation du patient*/*

- $Ind = 0$
- $D = \emptyset$
- Si le patient i est un cas urgent Alors
 - $l := 1$
 - donner ru_i et du_i , respectivement date « au plus tôt » et date « au plus tard » d'hospitalisation du patient, imposées par son état de santé
 - si le patient a une préférence à être hospitalisé durant la période $[rp_i, dp_i]$ vérifiant : $ru_i \leq rp_i \leq du_i$ et $dp_i \leq du_i$ alors
 1. $k := rp_i$
 2. $z := dp_i$
 - sinon
 1. $k := ru_i$
 2. $z := du_i$
- Si le patient n'est pas un cas urgent et exprime une préférence à être hospitalisé durant la période $[rp_i, dp_i]$ Alors
 - $l := 2$
 - $k := rp_i$
 - $z := dp_i$
- Sinon
 - $k := d+1$
 - $z := d+y$
 - $l := 3$
- Aller au pas 2

Pas 2 : Recherche d'une date d'hospitalisation

- Tant que $(k \leq z)$ Faire
 - si $(A_{1,k} \geq 1, A_{1,k+p} \geq 1$ pour $p \in [DR_i+1..DS_i], A_{2,k+1} \geq DI_i$ et $A_{3,k+p'} \geq 1$ pour $p' \in [1..DR_i])$ alors
 1. $r_i := k$
 2. $d_i := z$

3. si $l = 1$ alors $L_u := L_u \cup \{(i, r_i, d_i)\}$
 4. si $l = 2$ et r_i n'appartient pas à l'horizon de décision alors $L_p := L_p \cup \{(i, r_i, d_i)\}$
 5. si $l = 3$ et r_i n'appartient pas à l'horizon de décision alors $L_n := L_n \cup \{(i, r_i, d_i)\}$
 6. aller au pas 4
- sinon $k := k+1$
 - Aller au pas 3

Pas 3 : Reconsidérer la recherche d'une date d'hospitalisation

/ Aucune date d'hospitalisation satisfaisant les contraintes n'a été trouvée au pas 2*/*

- Si $l = 2$ Alors retour au pas 1 (1)
- Si $l = 1$ Alors (2)
 - Pour t entre r_i et d_i calculer

$$S_t = \min(0, A_{1,t-1}) + \sum_{p=DR_i+1}^{DS_i} \min(0, A_{1,t+p-1}) + \sum_{p'=1}^{DR_i} \min(0, A_{3,t+p'-1}) + \min(0, \max(-1, A_{2,t+1} - DI_i)) \quad (3)$$
 - Sélectionner r entre r_i et d_i tel que $S_r = \underset{t \in [r_i, d_i]}{\text{Min}}(-S_t)$ (4)
 - $r_i := r$
 - $L_u := L_u \cup \{(i, r_i, d_i)\}$
 - $\text{Ind} := 1$
 - Aller au pas 4

Pas 4 : Mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle après insertion de la prise en charge

- $A_{1,r_i} := A_{1,r_i} - 1$
- $A_{1,r_i+p} := A_{1,r_i+p} - 1$ pour $p \in [DR_i+1..DS_i]$
- $A_{2,r_i+1} := A_{2,r_i+1} - DI_i$
- $A_{3,r_i+p'} := A_{3,r_i+p'} - 1$ pour $p' \in [1..DR_i]$
- Si $\text{Ind} = 1$ Alors aller au pas 5
- Sinon aller au pas 6

Pas 5 : Détermination et réinsertion des prises en charge à déplacer

- Sélectionner l'ensemble R des couples (m, k) / $m \in [1..3]$ et $k \in [r..r+DS_i]$ tel que $A_{m,k} - 1 < 0$
- Pour chaque élément $(1, k)$ et $(3, k)$ de R Faire
 - Déterminer l'ensemble des patients $S_{m,k}$ utilisant la ressource m pendant le jour k et appartenant à la liste L_n (5)
- S'il existe dans R l'élément $(2, r+1)$ Alors
 - Déterminer f , le nombre minimal de patients de L_n utilisant la ressource 2 pendant le jour k et dont la somme des durées d'intervention est supérieure ou égale à DI_i
 - Déterminer l'ensemble des f-uplets de patients utilisant la ressource 2 pendant le jour $r+1$ et dont la somme des durées d'intervention est supérieure ou égale à DI_i
 - Etablir $S_{2,r+1}$, l'ensemble des patients constituant les f -uplets
- Déterminer une partition minimale de R en N sous-ensembles R^1, R^2, \dots, R^N vérifiant la condition $\bigcap_{(m,k) \in R^s} S_{m,k} \neq \emptyset, \forall s \in [1..N]$ (6)
- Pour s entre 1 et N Faire

- Sélectionner L_s , l'ensemble des patients dans $\bigcap_{(m,k) \in R^s} S_{m,k}$ ayant la plus large date au plus tard et la plus large date au plus tôt
- pour chaque patient q de L_s calculer son coût de passage :

$$C_q = C_{\text{réa}} \cdot DR_q + C_{\text{lh}} \cdot (DS_q - DR_q) + C_{\text{hbloc}} \cdot DI_q$$
- Sélectionner un patient q ayant le plus faible C_q (7)
- $D := D \cup \{q\}$
- Sélectionner l'ensemble $E = D \cap S_{2,r+1}$
- Si $\sum_{q \in E} DI_q < DI_i$ Alors
 - Déterminer l'ensemble G des ($f\text{-card}^{15}(E)$) patients dont la somme des durées est supérieure ou égale à $DI_i - \sum_{q \in E} DI_q$, ayant les plus larges dates au plus tard, les plus larges dates au plus tôt et les plus faibles coûts de passage (8)
- Pour chaque patient q dans $D \cup G$ Faire
 - si le patient q constitue le premier terme d'un couple de L_{rev} alors
 1. $t := r'_q$
 2. $L_{\text{rev}} := L_{\text{rev}} / \{(q, r'_q)\}$
 - sinon $t := r_q$
 - $A_{1,t} := A_{1,t} + 1$
 - $A_{1,t+p} := A_{1,t+p} + 1$ pour $p \in [DR_q + 1 .. DS_q]$
 - $A_{2,t+1} := A_{2,t+1} + DI_q$
 - $A_{3,t+p'} := A_{3,t+p'} + 1$ pour $p' \in [1 .. DR_q]$
 - $k := r_q$
 - $z := d_q$
 - tant que $k \leq z$ et $k \neq t$ faire
 1. si ($A_{1,k} \geq 1$, $A_{1,k+p} \geq 1$ pour $p \in [DR_q + 1 .. DS_q]$, $A_{2,k+1} \geq DI_q$ et $A_{3,k+p'} \geq 1$ pour $p' \in [1 .. DR_q]$) alors
 - a. $A_{1,k} := A_{1,k} - 1$
 - b. $A_{1,k+p} := A_{1,k+p} - 1$ pour $p \in [DR_q + 1 .. DS_q]$
 - c. $A_{2,k+1} := A_{2,k+1} - DI_q$
 - d. $A_{3,k+p'} := A_{3,k+p'} - 1$ pour $p' \in [1 .. DR_q]$
 - e. $r'_q := k$
 - f. $L_{\text{rev}} := L_{\text{rev}} \cup \{(q, r'_q)\}$
 - g. $k := z + 1$ /* fin tant que */
 2. sinon $k := k + 1$
- Aller au pas 6

Pas 6 : Fin de la recherche

Si aucune date d'hospitalisation respectant les contraintes de disponibilité résiduelle des ressources n'a été trouvée durant la période où le patient souhaite être hospitalisé, il faut renégocier avec le patient cette période (1). En effet, la charge du système ne peut pas satisfaire son premier souhait quant à la période de son hospitalisation. Néanmoins, le patient peut proposer une autre période. Lorsque le patient i est un cas urgent, r_u et d_u sont imposés par l'état du patient et sont fermes. Une priorité est donnée au patient urgent i et une date d'hospitalisation entre r_u et d_u doit lui être fournie (2).

¹⁵ Le nombre d'éléments d'un ensemble.

Dans (3), S_t indique le nombre d'indisponibilités de ressources durant le processus de prise en charge du patient si le patient sera hospitalisé le jour t (il s'agit du nombre d'éléments de la matrice (A) qui prennent une valeur négative si le patient sera hospitalisé le jour t). S_t est calculée pour tout jour t entre r_u et d_u . La date d'hospitalisation à fournir au patient est celle donnant le plus faible nombre d'indisponibilités (4).

L'ensemble $S_{m,k}$ désigne l'ensemble des patients de la liste L_n dont la date d'hospitalisation suppose l'utilisation de la ressource m pendant le jour k (5). Les patients de L_n ne sont pas des cas urgents. Par ailleurs, la date d'hospitalisation qui leur a été proposée le jour des consultations n'est pas une date qu'ils ont exigée. Ainsi, nous estimons que la date d'hospitalisation d'un patient de L_n peut être éventuellement reportée. Toutefois, nous ne pouvons pas garantir qu'un patient de la liste L_n accepterait que sa date d'hospitalisation soit reportée. En effet, le report d'une date d'hospitalisation peut stresser le patient. Il semble ainsi intéressant de sélectionner une liste de patients, dans L_n , qui accepteraient que leur date d'hospitalisation soit retardée. Cette sélection peut également être basée sur le type de pathologie du patient.

Si l'ensemble $S_{m,k}$ est vide alors si k appartient à l'horizon de décision et la ressource m est le bloc opératoire, il est possible soit de faire appel aux heures supplémentaires, soit de reporter des interventions planifiées afin de permettre l'hospitalisation du patient urgent. Toutefois, s'il s'agit d'une autre ressource, il est impossible de prendre en charge ce cas urgent. Par ailleurs, si k n'appartient pas à l'horizon de décision alors les patients utilisant la ressource m pendant le jour k sont des patients de L_p . Dans ce cas, la prise en charge de ce cas urgent n'est possible qu'en se permettant de retarder des patients de L_p ; $S_{m,k}$ désignera ainsi l'ensemble des patients de $L_n \cup L_p$ utilisant la ressource m pendant le jour k .

L'objectif par la recherche d'une partition minimale de R en N sous-ensembles R^1, R^2, \dots, R^N vérifiant la condition $\bigcap_{(m,k) \in R^s} S_{m,k} \neq \emptyset, \forall s \in [1..N]$ (6) est d'essayer de minimiser le nombre de patients dont la date d'hospitalisation sera reportée afin de permettre la prise en charge du patient urgent. En effet, la date d'hospitalisation de l'un des patients de $\bigcap_{(m,k) \in R^s} S_{m,k}, \forall s \in [1..N]$ est à déplacer.

Le nombre minimal de patients à déplacer est compris entre N et $N+f-1$.

Nous avons proposé un algorithme de recherche d'une partition minimale de R en N sous-ensembles R^1, R^2, \dots, R^N vérifiant la condition $\bigcap_{(m,k) \in R^s} S_{m,k} \neq \emptyset, \forall s \in [1..N]$. Cet algorithme sera donné en annexe A.

(7) permet de sélectionner le patient dans $\bigcap_{(m,k) \in R^s} S_{m,k}$ ayant la plus large date au plus tard d'hospitalisation, la plus large date d'hospitalisation (fournie le jour de consultation) et le plus faible coût de passage ou de prise en charge. En effet, ce coût permet d'exprimer la lourdeur de prise en charge d'un patient en termes d'utilisation des ressources. La prise en charge ayant le plus faible coût serait plus facile à réinsérer.

Soit f' le nombre de patients sélectionnés dans (7), à opérer le jour $r+1$. Si f' est inférieur à f alors il faut compléter la liste des patients dont la date d'hospitalisation est à reporter. Nous considérons ici les $(f-f')$ patients de $S_{2,r+1}$ non sélectionnés dans (7) ayant les plus larges dates au plus tard, les plus larges dates au plus tôt et de plus faibles coûts de passage (8).

(9) permet de déterminer la nouvelle date d'hospitalisation au plus tôt d'un patient à retarder.

Dans la figure 13, nous avons présenté l'organigramme de l'algorithme de recherche d'une date d'hospitalisation.

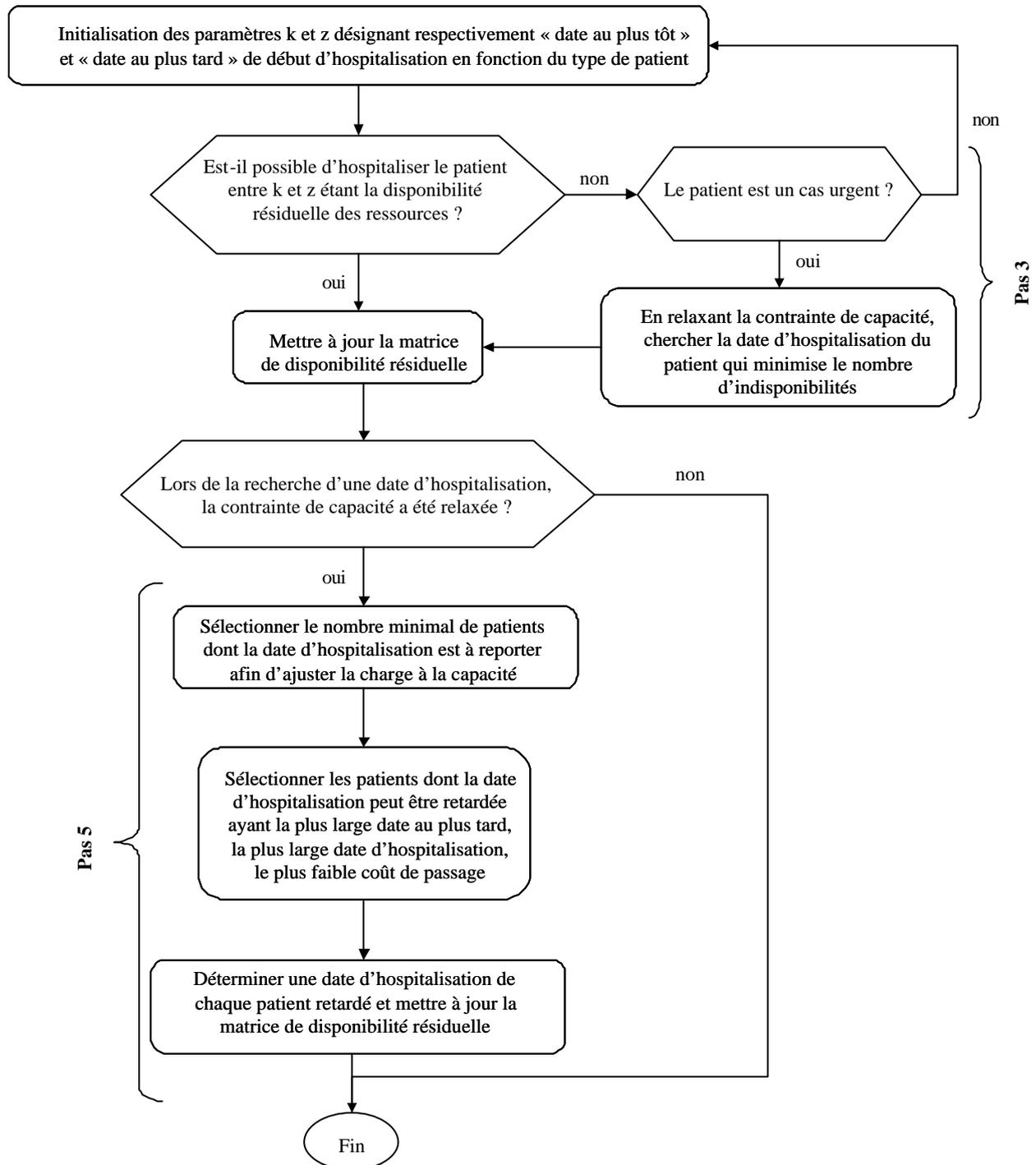


Figure 13 : Organigramme de l'algorithme de recherche d'une date d'hospitalisation

3.3.1.3. Analyse des cas limites de l'algorithme

Nous pensons ici à la convergence de l'algorithme ainsi proposé. Dans un premier temps, nous discutons les cas limites qui peuvent s'opposer à la convergence de cet algorithme. Ensuite, nous précisons les hypothèses qui permettent d'assurer sa convergence.

Trois cas limites peuvent se présenter :

- Le patient n'est pas un cas urgent et il est impossible, vu la charge du système, de l'hospitaliser durant la période qu'il propose. Dans ce cas, la solution est de renégocier avec lui cette période dans l'objectif de trouver une date qui lui convient. Néanmoins, le patient peut proposer des périodes où il est impossible de l'hospitaliser. Dans ce cas, la renégociation doit être arrêtée après un certain nombre d'essais.
- Le patient est un cas urgent et son hospitalisation engendre une surcharge de la ressource pendant le jour k . S'il n'existe pas de patients que l'on peut retarder parce que les dates d'hospitalisation de tous les patients utilisant la ressource m pendant le jour k ont été déjà confirmées, alors l'insertion de la prise en charge du patient urgent peut s'avérer impossible si la ressource indisponible n'est pas le bloc opératoire. Si tous les patients utilisant la ressource m pendant le jour k sont des patients dont la date d'hospitalisation est incluse dans la période où ils souhaitent être hospitalisés et la stratégie du système de soins considéré interdit de retarder ces patients, alors l'insertion de la prise en charge du patient urgent peut s'avérer impossible.
- Le patient dont la date d'hospitalisation est reportée afin de permettre la prise en charge d'un patient urgent, ne doit pas être ni un cas urgent, ni un cas qui a proposé lui-même sa date d'hospitalisation. L'algorithme permet également la recherche d'une nouvelle date d'hospitalisation pour ce patient avant sa date d'hospitalisation «au plus tard». Cependant, il peut arriver que la charge du système ne permette pas de respecter cette contrainte. Dans ce cas, si cette date «au plus tard» a été communiquée au patient, il faut le traiter comme un patient urgent puis corriger le paramètre « y » indiquant l'attente maximale entre date de consultation et date d'hospitalisation tolérée par le système de soins.

Ainsi, la convergence de cet algorithme peut être assurée par les hypothèses suivantes :

1. Après un certain nombre de négociations, on arrive toujours à définir avec le patient une date d'hospitalisation.
2. Il est toujours possible d'insérer la prise en charge d'un patient urgent : soit il existe des patients dont la date d'hospitalisation peut être reportée (des patients de L_n sinon des patients de L_p) ; soit le recours aux heures supplémentaires de bloc opératoire ou éventuellement le report d'interventions planifiées permet de l'insérer.
3. L'attente maximale entre date de consultation et date d'hospitalisation est bien estimée.

Toutefois, il faut noter qu'en pratique, les cas urgents qui arrivent en consultation et dont l'état de santé impose une intervention dans les quelques jours qui viennent (par exemple durant la semaine) sont des cas rares. Cette réalité permet de valider la deuxième hypothèse citée ci-dessus.

3.3.2. Mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle

Afin d'améliorer la fiabilité de la date d'hospitalisation communiquée au patient en fin de consultation, nous proposons de mettre à jour périodiquement (par exemple chaque jour avant le

début des consultations) la matrice de disponibilité résiduelle. L'objectif de cette mise à jour est de prendre en compte les aléas qui ont pu avoir lieu.

La mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle peut nécessiter le recalcul de dates d'hospitalisation si la prise en compte directe des aléas qui ont pu avoir lieu (en procédant comme indiqué au pas 4 de l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation) montre une utilisation des ressources au-delà de leur capacité. Dans ce cas, la mise à jour comporte trois étapes :

- Une première étape consiste à calculer la matrice de disponibilité résiduelle à partir de la charge engagée. Il s'agit de la charge du système induite par les patients déjà hospitalisés ou pour lesquels une date d'hospitalisation a été confirmée.
- Une deuxième étape consiste à recalculer les dates d'hospitalisation des patients, non encore hospitalisés et pour lesquels aucune date d'hospitalisation n'est encore confirmée, en tenant compte des différents aléas qui ont pu avoir lieu.
- Une troisième étape consiste dans le calcul de la matrice de disponibilité résiduelle à partir des résultats de la deuxième étape. Celle-ci sera utilisée pour la recherche de dates d'hospitalisation durant le prochain jour de consultation.

3.3.2.1. Quelques notations et précisions

Dans la mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle, englobant un recalcul de dates d'hospitalisation, nous ferons appel aux notations suivantes :

- L_1 : liste des patients dont la date d'hospitalisation n'a pas encore été confirmée à l'instant de mise à jour.
- L_2 : liste des patients hospitalisés ou pour lesquels une date d'hospitalisation a été confirmée à l'instant de mise à jour.
- L_3 : liste des patients de L_1 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation sera recalculée dans la mise à jour.
- L_4 : liste des patients de L_3 nécessitant un séjour en réanimation (les patients i de L_3 / $DR_i \neq 0$).

La mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser le jour de consultations « $d+1$ », doit nous indiquer les disponibilités résiduelles des ressources entre les jours « $d+2$ » et « $d+1+y+B$ » où B représente la plus grande durée de séjour que peut avoir un patient. Pour un patient qui suggère une date d'admission dépassant l'attente maximale « y », il n'est pas nécessaire de vérifier si la charge du système permet de satisfaire sa proposition, il s'agit juste d'enregistrer sa prise en charge. Par ailleurs, l'horizon de temps sur lequel la matrice de disponibilité résiduelle peut être modifiée dépend des dates d'hospitalisation « au plus tôt » et « au plus tard » des patients de L_3 et de l'instant de mise à jour.

Les patients i de L_3 sont les patients de L_1 dont la date d'hospitalisation r_i fournie en fin de consultation vérifie : $r_i \leq d+1+y$.

Les patients de $L_1 \setminus L_3$ sont des patients qui ont suggéré une date d'admission dépassant l'attente maximale « y ». Afin de réduire la complexité de la mise à jour, ces derniers ne seront pas considérés.

L'horizon de temps sur lequel la matrice de disponibilité résiduelle peut être modifiée est $[d+1, H_d]$ où : $H_d = \text{Max}_{i \in L_1 / r_i \leq d+1+y} d_i + D$ avec $D = \text{Max}_{i \in L_3 \cup L_2} DS_i$

Pour chaque patient de L_2 , déjà hospitalisé, nous connaissons les prévisions de ce qu'il lui reste à suivre comme soins avant sa sortie. Ainsi, dans ce cas, pour un patient i de L_2 , DS_i représente le nombre de jours qu'il lui reste à passer à l'hôpital.

Toutefois, nous distinguons deux catégories de patients de L_2 , qui sont déjà hospitalisés :

- les patients qui ont été déjà opérés,
- les patients qui ne sont pas encore opérés.

Parmi les patients qui ne sont pas encore opérés, il peut y avoir quelques patients dont l'intervention a été reportée. Dans ce cas, une replanification des interventions s'avère nécessaire afin de rétablir les prévisions de processus de soins.

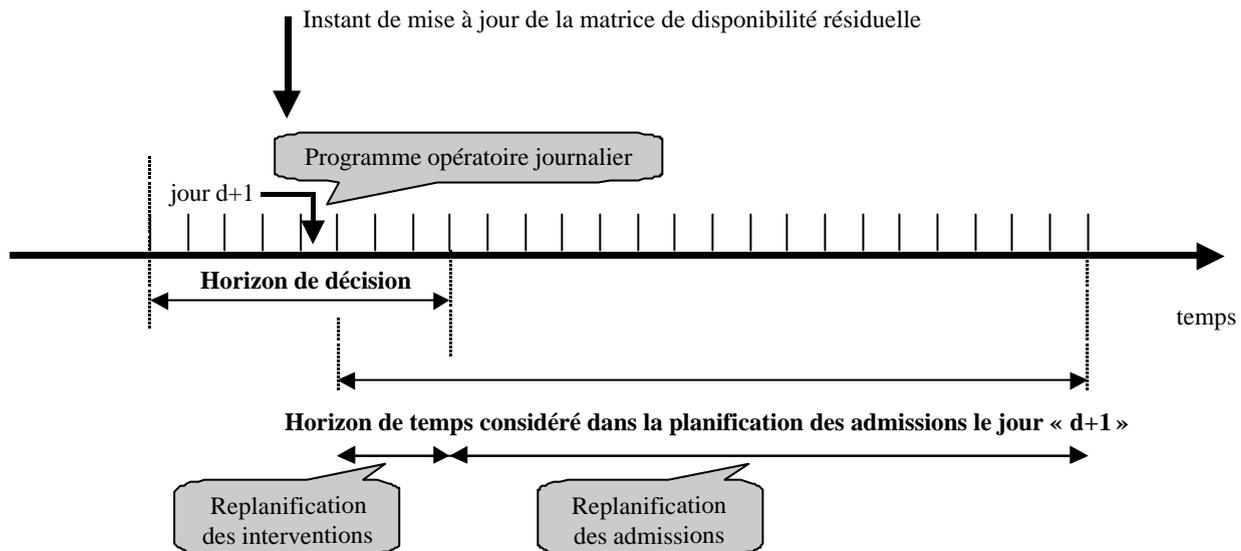


Figure 14 : Eléments décisionnels de la mise à jour

3.3.2.2. Détermination de la matrice de disponibilité résiduelle à partir de la charge engagée

La charge engagée n'est autre que la charge induite par les patients de la liste L_2 . Elle est déterminée à partir des prévisions de processus de soins. Pour les patients déjà hospitalisés, il s'agit d'une prévision du processus de soins qu'il leur reste à suivre. Pour les patients dont la date d'hospitalisation a été confirmée, il s'agit d'une prévision du processus de soins à suivre à partir de la date de leur hospitalisation. Ainsi, parmi les aléas qui peuvent être pris en compte par la mise à jour, nous citons la modification des prévisions du processus de soins initial.

Les patients dont la date d'intervention a été reportée seront considérés lors de la construction du programme opératoire journalier. Si toutes les interventions (planifiées et celles reportées) ont été programmées, le problème de replanification des interventions est résolu. Sinon, il s'agit d'établir les programmes opératoires des jours suivants (jour par jour) en considérant à chaque fois les interventions qui n'ont pas été programmées jusqu'à programmer toutes les interventions.

Nous désignons par « d+1 » le jour de consultation où sera utilisée la matrice de disponibilité résiduelle faisant l'objet de la présente mise à jour. Nous désignons par $\Delta_{h,d+1}$ le dernier jour de l'horizon de décision d'admission incluant le jour d+1. Comme $\Delta_{h,d+1}$ désigne le dernier jour de l'horizon de décision d'admission, $\Delta_{h,d+1}+1$ est le dernier jour de l'horizon de planification des interventions.

S'il n'a pas été possible de programmer toutes les interventions avant le jour $\Delta_{h,d+1}+1$ alors les interventions restantes seront programmées pour le jour suivant ($\Delta_{h,d+1}+2$). En effet, la planification des interventions n'est pas encore effectuée pour le jour ($\Delta_{h,d+1}+2$) puisque les admissions ne sont pas encore confirmées pour le jour $\Delta_{h,d+1}+1$.

Par ailleurs, la décision de reporter des interventions ne peut être prise que rarement notamment avec la possibilité de faire recours aux heures supplémentaires du bloc opératoire. Elle doit être considérée comme un dernier recours.

Cette méthode récursive présente l'avantage de redéfinir les programmes opératoires juste sur le nombre de jours suffisants pour programmer toutes les interventions : planifiées et reportées. Cependant, la contrainte de disponibilité des lits d'hospitalisation ne sera pas traitée à ce niveau. En effet, nous supposons que cette contrainte est prise en compte au niveau de la prise de décision concernant l'acceptation de l'urgence. Il s'agit d'une contrainte importante étant donné que l'indisponibilité de lits d'hospitalisation peut bloquer l'acceptation de l'urgence notamment dans le cas de la nécessité de reporter des interventions. Dans ce dernier cas, il faut non seulement garantir un lit pour le patient urgent mais aussi pour les patients dont l'intervention sera reportée. Nous abordons ce point en détail dans le chapitre 5 qui porte sur le problème de la prise en compte de l'urgence dans le bloc opératoire.

La programmation des interventions consiste à affecter les interventions aux salles d'opération. Cette affectation permet, d'une part, de fixer la liste des interventions du programme opératoire. Elle permet donc de sélectionner, parmi les patients hospitalisés et prêts à être opérés, ceux dont l'intervention fera partie du programme opératoire. L'objectif de sélection des interventions à réaliser durant une journée comprend la minimisation du nombre de jours passés par les patients à l'hôpital dans l'attente d'une intervention. Par la minimisation de l'attente des patients entre date d'hospitalisation et date d'intervention chirurgicale, nous souhaitons, d'une part, améliorer la satisfaction des patients et d'autre part, aller vers une utilisation plus efficace des lits d'hospitalisation. Par ailleurs, nous pouvons attribuer, lors de la programmation des interventions, une priorité aux interventions reportées. Le modèle d'affectation des interventions sera explicité dans le chapitre suivant. Néanmoins, nous présentons l'algorithme que nous proposons pour la replanification des interventions en vue de mettre à jour la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser pendant les consultations du jour $d+1$ (voir figure 15).

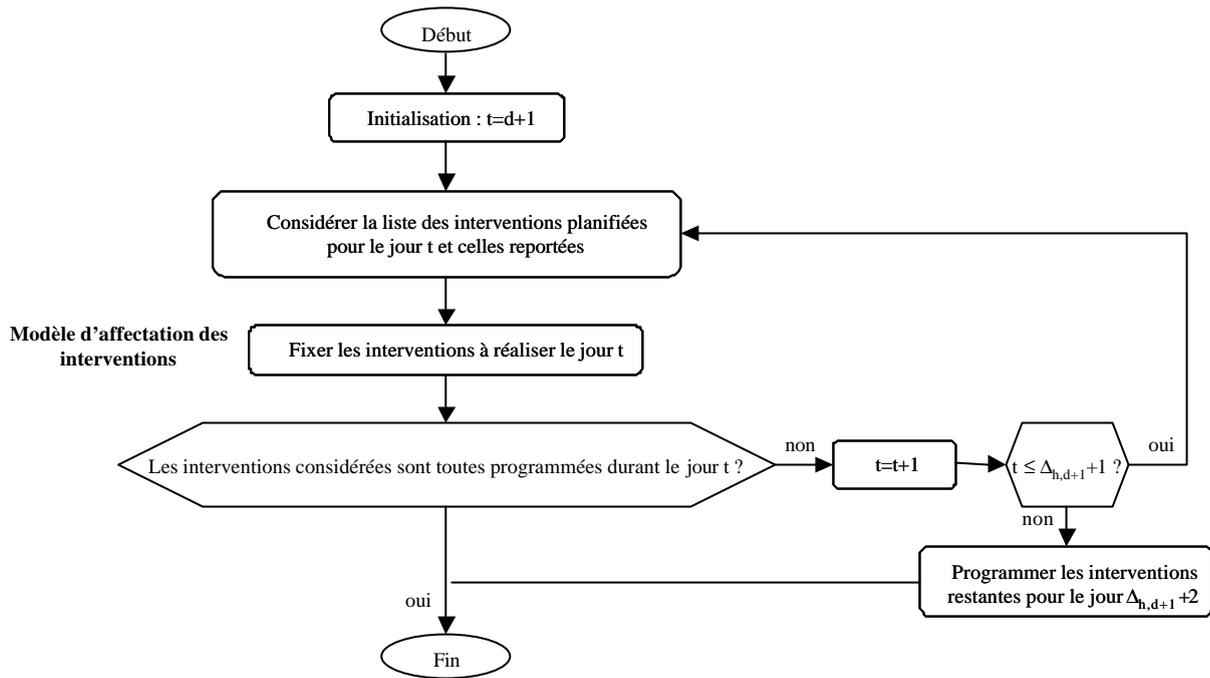


Figure 15 : L'algorithme de replanification des interventions

Soit (A°) la matrice de disponibilité résiduelle basée sur la charge engagée au jour « d+1 ».

$C_{eng_{m,k}}$ désigne la charge engagée de la ressource m le jour k.

$C_{m,k}$ désigne la capacité réelle en ressource m le jour k.

$C_{eff_{m,k}}$ désigne la capacité effective en ressource m le jour k.

La réalisation des interventions programmées est limitée aux cinq jours ouvrables du bloc opératoire. Nous désignons par NO l'ensemble de jours dans $[d+1..H_d]$ non ouvrables du bloc opératoire.

$$A^{\circ}_{m,k} = C_{m,k} - C_{eng_{m,k}}, \forall m \in \{1,3\}, \forall k \in [d+1..\Delta_{h,d+1}]$$

$$A^{\circ}_{m,k} = C_{eff_{m,k}} - C_{eng_{m,k}}, \forall m \in \{1,3\}, \forall k \in [\Delta_{h,d+1}+1..H_d]$$

$$A^{\circ}_{2,k} = C_{2,k} - C_{eng_{2,k}}, \forall k \in [d+1..\Delta_{h,d+1}+1] / k \notin NO$$

$$A^{\circ}_{2,k} = C_{eff_{2,k}} - C_{eng_{2,k}}, \forall k \in [\Delta_{h,d+1}+2..H_d] / k \notin NO$$

$$A^{\circ}_{2,k} = 0, \forall k \in NO$$

3.3.2.3. Recalcul des dates d'hospitalisation

L'objectif par le recalcul des dates d'hospitalisation est d'établir de nouvelles prévisions de la charge du système en intégrant toutes les informations disponibles à l'instant de mise à jour concernant les aléas qui ont eu lieu. Dans ce recalcul, nous considérons les patients de la liste L_3 . En effet, il s'agit des patients i dont la date d'hospitalisation r_i fournie en fin de consultation n'a pas encore été confirmée et vérifiée : $r_i \leq d+1+y$.

Pour une mise à jour ayant lieu avant le début des consultations du jour « d+1 », l'horizon de planification concerné est $[\Delta_{h,d+1}+1, H_d]$. En effet, les patients i dont la date d'hospitalisation r_i , fournie en fin de consultation, vérifie $r_i \leq \Delta_{h,d+1}$, sont des patients dont la date d'hospitalisation a été déjà confirmée.

La solution cherchée sera décrite au moyen des variables entières (0-1) :

$x_{i,t} = 1$ si le patient i est admis le jour t , $=0$ sinon.

En utilisant les différentes notations, nous présentons ici, la formulation mathématique proposée :

$$(PL1) \text{ Min } \sum_{i \in L_3} [(\sum_{t=\Delta_{h,d}+1}^{H_d} t \cdot x_{i,t}) - r_i] \quad (10)$$

sous les contraintes :

$$\sum_{t=\Delta_{h,d}+1}^{H_d} x_{i,t} = 1, \forall i \in L_3 \quad (11)$$

$$r_i \leq \sum_{t=\Delta_{h,d}+1}^{H_d} t \cdot x_{i,t} \leq d_i, \forall i \in L_3 \quad (12)$$

$$\sum_{i \in L_3} x_{i,t} + \sum_{i \in L_3} \sum_{p=DR+1}^{Min(DS,t-\Delta_{hd}+1)} x_{i,t-p} \leq A^{\circ}_{1,t}, \forall t \in [\Delta_{h,d}+1, H_d] \quad (13)$$

$$\sum_{i \in L_3} x_{i,t-1} \cdot DI_i \leq A^{\circ}_{2,t}, \forall t \in [\Delta_{h,d}+2, H_d] \quad (14)$$

$$\sum_{i \in L_4} \sum_{p=1}^{Min(DR,t-\Delta_{h,d}+1)} x_{i,t-p} \leq A^{\circ}_{3,t}, \forall t \in [\Delta_{h,d}+2, H_d] \quad (15)$$

$$x_{i,t} \in \{0,1\}, \forall i \in L_3, \forall t \in [\Delta_{h,d}+1, H_d] \quad (16)$$

Le modèle ainsi obtenu est un programme linéaire en nombres entiers (0-1).

La fonction objectif (10) permet de minimiser l'écart entre date d'admission donnée par la solution du modèle mathématique et date communiquée au patient en fin de consultation. En effet, celle-ci, même provisoire, représente le premier engagement avec le patient.

Les contraintes (11) garantissent la recherche d'une seule date d'admission à un patient donné. Les contraintes (12) permettent la recherche d'une date d'admission au patient i entre la date d'hospitalisation qui lui a été communiquée en fin de consultation r_i et la date au plus tard d'hospitalisation d_i . Les familles de contraintes (13), (14) et (15) assurent le respect de la disponibilité résiduelle des ressources. Elles concernent respectivement la ressource « lit d'hospitalisation », la ressource « bloc opératoire » et la ressource « lit de réanimation ». Les contraintes (16) sont des contraintes d'intégrité.

Le modèle présenté ci-dessus recalcule les dates d'hospitalisation des patients de la liste L_3 . Cette liste considère aussi bien les patients appartenant à la liste L_n que ceux appartenant à la liste L_p . Toutefois, les patients appartenant à la liste L_p sont des patients qui ont exprimé le souhait d'être hospitalisés durant une période, la date r_i qui leur a été accordée en fin de consultation satisfait ce souhait. Ainsi, une faveur peut être accordée à ces patients en essayant de ne pas retarder leur date d'hospitalisation. Dans la résolution de ce problème, nous proposons ainsi de procéder de la manière suivante :

- Considérer le programme linéaire présenté ci-dessus (PL1) en rajoutant les contraintes supplémentaires : $x_{i,r_i} = 1, \forall i / (i, r_i, d_i) \in L_p$
- Résoudre ce programme linéaire en nombres entiers (0-1)
- Si aucune solution n'a été trouvée alors :
 - reconsidérer le programme linéaire présenté ci-dessus (PL1), sans rajouter de contraintes
 - résoudre ce programme linéaire en nombres entiers (0-1)

- fin
- Sinon
- fin

La famille de contraintes que nous proposons de rajouter au programme linéaire (PL1) assure que la date d'hospitalisation recalculée pour les patients de L_p est la même que celle qui leur a été accordée en fin de consultation. Si en considérant cette famille de contrainte aucune solution n'a été trouvée alors il n'est pas possible d'accorder une faveur aux patients appartenant à la liste L_p .

La liste L_{rev} sera à la fin de chaque mise à jour actualisée conformément à la solution du programme linéaire en nombre entiers (0-1) considéré.

$$L_{rev} := \{ (i, \underset{t \in [\Delta_{h,d}+1, H_d]}{\text{Max}} t.x_{i,t}), i \in L_3 / \underset{t \in [\Delta_{h,d}+1, H_d]}{\text{Max}} t.x_{i,t} \neq r_i \}$$

La recherche d'une solution optimale du programme linéaire de recalcul des dates d'hospitalisation permet également d'optimiser la réinsertion des patients réalisée par l'algorithme de détermination de date d'hospitalisation (pas 5 de l'algorithme).

3.3.2.4. Calcul de la matrice de disponibilité résiduelle

La matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du jour $d+1$ est calculée à partir de la matrice de disponibilité résiduelle (A°) et la charge du système estimée à partir de la solution du modèle de recalcul des dates d'hospitalisation.

3.4. Processus de confirmation des dates d'hospitalisation

La date d'hospitalisation proposée au patient en fin de consultation est une date qui doit être confirmée. Désormais, les différents aléas qui peuvent survenir ne permettent pas d'avoir tous les éléments pour une bonne maîtrise de l'évolution de la charge du système de soins. Ainsi, la date d'hospitalisation fournie au patient en fin de consultation peut être retardée si les différents potentiels de flexibilité (réserve de capacité pour les cas urgents, heures supplémentaires, ...) ne donnent pas au système de soins une marge de manœuvre suffisante pour réagir face aux différents aléas.

Cette confirmation doit avoir lieu quelques jours avant la date d'hospitalisation afin de donner au patient du temps pour se préparer. Dans le cas où la date d'hospitalisation fournie initialement au patient n'a pas été confirmée, nous proposons que la nouvelle date communiquée au patient soit « figée ».

3.4.1. Description du processus de confirmation des dates d'hospitalisation

La confirmation des admissions permet de fixer les admissions sur un nombre de jours, dit horizon de décision. Désormais, une date d'hospitalisation confirmée est une date « figée ». La confirmation d'une date d'hospitalisation est une décision qui repose sur la disponibilité des ressources critiques intervenant dans le processus de soins que doit suivre le patient. Par comparaison avec la planification d'une admission en fin de consultation (juste après décision pour une intervention chirurgicale), nous considérons ici les ressources d'une façon plus détaillée. Par exemple, dans la planification d'une admission en fin de consultation, nous considérons la ressource « bloc opératoire » comme agrégation de l'ensemble des salles d'opération. Ici, nous considérons chaque salle d'opération d'une façon indépendante. Aussi, nous tiendrons compte de la disponibilité des

chirurgiens.

Néanmoins, la confirmation des admissions et la planification des interventions sont deux décisions dépendantes puisqu'un patient est hospitalisé un jour avant le jour de son intervention. Ainsi, la planification des admissions revient à une planification des interventions qui tient compte aussi de la disponibilité des lits d'hospitalisation et de réanimation. Nous considérons ici une planification des interventions de type ouverte (cf. paragraphe 3.4. du chapitre 2). [Marcon et Kharraja, 2002b] ont présenté deux manières de gérer cette planification des interventions :

- Le remplissage du programme opératoire suivant la règle du premier arrivé, premier servi (FCFS)¹⁶. Cette règle s'applique durant toute la période de construction du programme.
- La construction du programme élaborée sous la direction du responsable de bloc opératoire suivant un processus de négociation entre les différents acteurs : chirurgiens, médecins anesthésistes/réanimateurs, infirmières anesthésistes et infirmières chirurgicales.

La première technique présente l'avantage d'être simple à mettre en œuvre. Toutefois, elle ne permet pas de réagir aux différents aléas qui peuvent avoir lieu. Elle défavorise les patients présentant une urgence alors qu'elle favorise les patients qui ne sont pas urgents puisque ces derniers peuvent être planifiés sur du moyen terme. Kontak-Frosyth [Kontak-Frosyth *et al.*, 1995] souligne que cette pratique engendre un fort taux de déprogrammation, une sous-utilisation des ressources et des dépassements horaires importants. A notre sens, cette technique s'applique mieux à une planification des interventions sur du moyen terme en intégrant les leviers de flexibilité adéquats (par exemple réserve de capacité pour les cas urgents). Pour une planification des interventions à court terme, il faut prévoir d'autres outils et techniques permettant de remédier à quelques inconvénients que pose cette technique.

La deuxième technique nous semble s'appliquer davantage à une planification des interventions à court terme. En effet, le responsable du bloc opératoire ainsi que les différents acteurs se réunissent chaque semaine pour décider des interventions à réaliser durant la semaine (ou les deux semaines) suivante(s). Dans la figure 16, nous présentons un modèle de processus de prise de décision qui s'inspire largement d'une étude réalisée au CHU de la Croix Rousse de Lyon [Marcon et Kharraja, 2002b]. L'objectif de cette étude était d'améliorer l'organisation et la programmation opératoire dans le service de chirurgie générale.

¹⁶ First Come, First Serve.

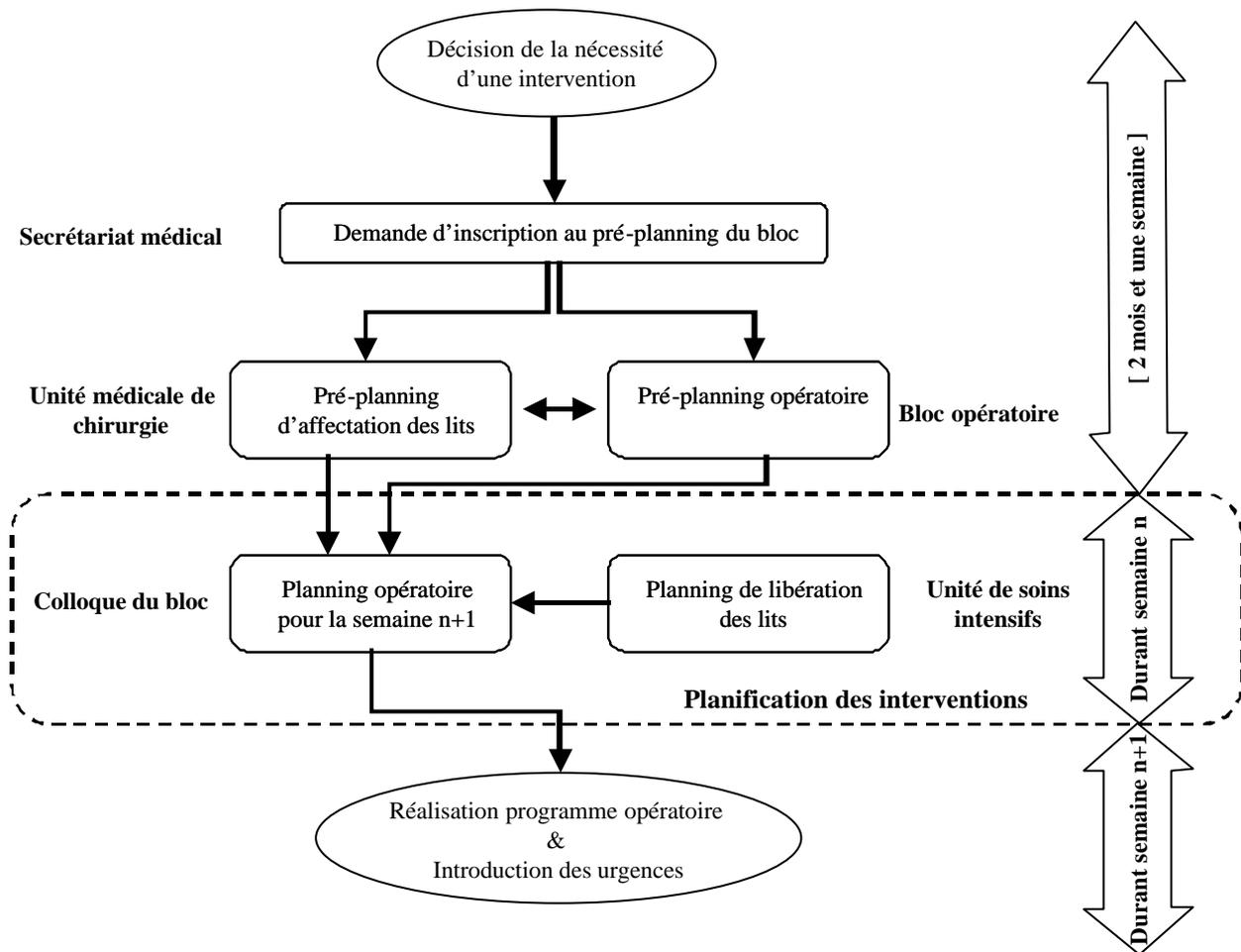


Figure 16 : Étapes de la création du programme opératoire

Nous proposons ici un processus de confirmation des admissions basé sur une planification des interventions sur l'horizon de six jours ouvrables. Cette planification des interventions tiendra compte de la disponibilité des lits d'hospitalisation et de réanimation. Le programme opératoire de la semaine suivante est établi chaque semaine le jour où se réunissent les différents acteurs du bloc. Par exemple au service de chirurgie générale du CHU de la Croix Rousse de Lyon, les différents acteurs du bloc se réunissent régulièrement tous les vendredis pour concerter le programme opératoire de la semaine suivante (du lundi au vendredi) et le lundi de la semaine d'après.

Dans la figure 17, nous avons présenté aussi bien le processus temporel de confirmation des admissions que le processus temporel de planification des interventions que nous proposons d'adopter. Le processus temporel de planification des interventions s'inspire largement de celui adopté au CHU de la Croix Rousse de Lyon notamment en ce qui concerne le choix de l'horizon de décision. Cependant, ce choix ne restreint pas le champ d'application du processus de confirmation des admissions que nous proposons. En effet, l'horizon de décision n'est qu'un paramètre du problème ainsi considéré, qu'il faut à chaque fois ajuster au besoin du système de soins en question.

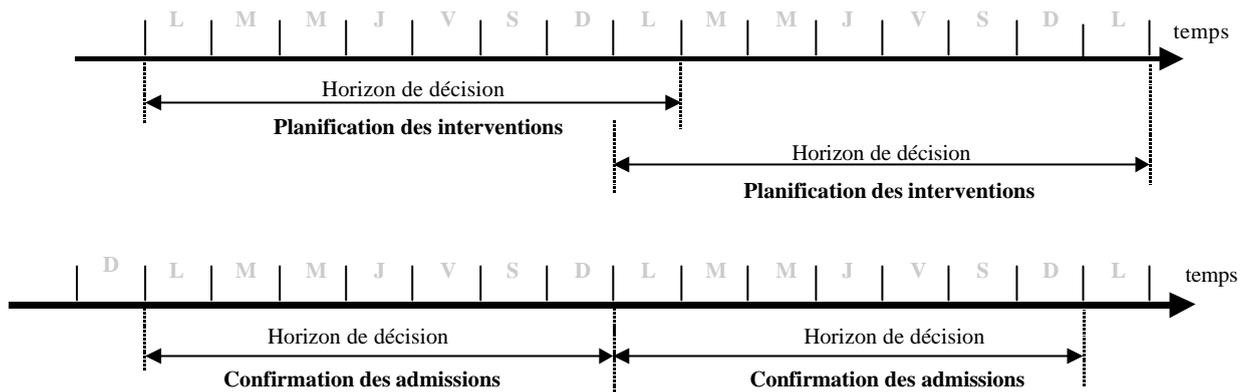


Figure 17 : Processus temporel de confirmation des dates d'hospitalisation

Chaque vendredi, les acteurs du bloc valident le programme opératoire de la semaine suivante et du lundi de la semaine d'après. Suite à cette validation contact est pris avec les patients concernés en vue de leur confirmer leur date d'hospitalisation. Ainsi, ce processus de confirmation suppose une organisation assurant la communication avec les patients afin de leur confirmer leur date d'hospitalisation.

La planification des interventions, en cas de nécessité, peut être remise en cause par d'éventuelles replanifications. Elle est à horizon glissant. Cependant, la décision d'admission est une décision « figée » dès confirmation au patient. Ainsi, elle ne peut aucunement être remise en cause.

Dans ce qui suit, nous proposons une formulation mathématique du problème de la planification des interventions en tant que programme linéaire mixte.

3.4.2. Planification des interventions

La planification des interventions consiste à préciser les interventions à réaliser chaque jour sur l'horizon de T jours. Dans toute la suite, nous désignons par $d(t)$ la date du jour t où $t \in [1..T]$.

Dans la planification des interventions, nous considérons deux classes de patients :

- les patients qui sont déjà hospitalisés mais qui ne sont pas encore opérés ainsi que les patients dont la date d'hospitalisation est déjà confirmée et tel que le jour prévu pour leur intervention appartient à l'horizon de planification des interventions,
- les patients i dont la date d'hospitalisation r_i fournie en fin de consultation n'est pas encore confirmée et vérifiée : $d(1) < r_i + 1 \leq d(T)$. En effet, la date d'hospitalisation r_i d'un patient i vérifiant : $r_i + 1 \leq d(1)$ doit être déjà confirmée.

Ces deux classes de patients seront notées respectivement C_1 et C_2 . Les patients de ces deux classes ont des priorités différentes. En effet, les interventions des patients de la classe C_1 sont plus prioritaires à planifier puisque ces patients sont soit hospitalisés (en attente de leur intervention) ; soit munis d'une date d'hospitalisation déjà confirmée.

Par ailleurs, les patients hospitalisés et qui ont été déjà opérés utilisent des ressources critiques du système de soins considéré : les lits d'hospitalisation et les lits de réanimation. Ainsi, il faut déterminer la charge induite par ces patients. En tenant compte des prévisions du processus de soins que suivent ces patients avant de sortir ainsi que des dates d'hospitalisation confirmées dans

l'horizon $[1..T]$, nous déterminons pour chaque jour de l'horizon le nombre de lits d'hospitalisation qui vont se libérer. Il s'agit, pour chaque jour de l'horizon, de sommer le nombre de sorties (prévisionnelles) et d'en soustraire le nombre d'admissions déjà confirmées. De la même manière, nous déterminons pour chaque jour de l'horizon de planification, le nombre de lits en réanimation qui vont se libérer. Mais ici nous considérons uniquement les patients hospitalisés qui ont été déjà opérés et qui séjournent en réanimation (à l'instant de construction de ce planning).

Dans la planification des interventions, nous considérons deux objectifs :

- le premier objectif concerne les patients de classe C_1 . Il consiste à minimiser le nombre de jours passés par ces patients à l'hôpital dans l'attente d'une intervention. Par la minimisation de l'attente des patients entre date d'hospitalisation et date d'intervention chirurgicale, nous recherchons, d'une part, la satisfaction des patients, et d'autre part, une utilisation plus efficace des lits d'hospitalisation.
- le deuxième objectif concerne les patients de classe C_2 . Il consiste à minimiser l'écart entre date d'hospitalisation fournie aux patients en fin de consultation et celle qui leur sera confirmée. En effet, le mieux serait de confirmer à chaque patient la date d'hospitalisation qui lui a été fournie en fin de consultation.

Dans ce qui suit, nous proposons une formulation mathématique du problème de la planification des interventions ainsi considéré en tant que programme linéaire mixte. Il s'agit d'une affectation des interventions aux salles d'opération sur l'horizon de T jours, de période un jour. Cette affectation tient compte des contraintes de ressources : heures régulières d'ouverture du bloc opératoire, disponibilité des chirurgiens dans le bloc, équipement de chaque salle d'opération, disponibilité des lits d'hospitalisation, disponibilité des lits de réanimation. Par ailleurs, nous considérons des contraintes exprimant la priorité des patients de la classe C_1 devant ceux de la classe C_2 .

Avant de présenter le modèle mathématique proposé ainsi que les notations utilisées dans sa formulation, nous précisons les différentes hypothèses que nous avons posées.

3.4.2.1. Hypothèses

- Pour chaque intervention, nous supposons connaître le chirurgien p qui va la réaliser, ainsi que la durée prévisionnelle d'occupation de la salle d'opération.
- Nous supposons connaître, pour chaque jour, les heures de disponibilité des chirurgiens au sein du bloc opératoire.
- Nous supposons connaître, pour chaque jour, les heures régulières d'ouverture du bloc opératoire.
- Nous supposons connaître les prévisions des processus de soins que doivent suivre les patients.
- Nous supposons que la déprogrammation d'une intervention n'a pas d'effet sur la prévision du processus de soins post-opératoire (processus de soins à suivre par le patient après intervention).
- Nous supposons que le nombre de patients de la classe C_1 est faible devant celui de la classe C_2 .
- Nous supposons que toutes les ressources nécessaires à la procédure anesthésique ainsi que les ressources nécessaires à la procédure chirurgicale (excepté le chirurgien) sont disponibles dans chaque salle d'opération ouverte.
- Les salles d'opération ne sont pas équivalentes. Une intervention peut nécessiter un équipement particulier qui n'est pas disponible dans toutes les salles d'opération.

3.4.2.2. Notations

Dans la modélisation du problème, nous considérons les données suivantes :

NC_1 : ensemble des patients i de classe C_1 ,

NC_2 : ensemble des patients i de classe C_2 ,

T : nombre de jours où sont planifiées les interventions (l'horizon de décision),

$d(t)$: date d'un jour t de l'horizon de planification des interventions,

NO : ensemble des jours non ouvrables du bloc opératoire,

S : nombre de salles d'opération,

L : nombre de chirurgiens,

$C_{m,t}$: durée régulière d'ouverture de la salle d'opération m durant le jour t (en minutes),

$Libh_t$: nombre de lits d'hospitalisation qui vont se libérer le jour t ,

$Libr_t$: nombre de lits en réanimation qui vont se libérer le jour t ,

$disp_1$: nombre de lits d'hospitalisation disponibles le jour précédant le premier jour de planification des interventions,

$disp_2$: nombre de lits disponibles en réanimation le premier jour de planification des interventions,

$H_{p,t}$: nombre maximal d'heures de travail du chirurgien p au bloc opératoire pendant le jour t ,

Dt_{oi} : durée de l'intervention du patient i (en minutes),

r_i : date d'hospitalisation fournie en fin de consultation au patient i de la classe C_2 ,

d_i : date au plus tard d'hospitalisation du patient i de la classe C_2 ,

Dh_i : date d'hospitalisation du patient i de la classe C_1 ,

$dint_i$: date au plus tard à opérer le patient i ¹⁷,

DH_i : nombre de jours prévus à passer au service d'hospitalisation par le patient i après son intervention¹⁸,

DR_i : nombre de jours prévus à passer dans l'unité de soins intensifs par le patient i après son intervention,

$\mu_{i,m} = 1$ si l'intervention du patient i peut être réalisée dans la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

$\eta_{i,p} = 1$ si le chirurgien p réalise l'intervention du patient i , $= 0$ sinon.

La solution cherchée sera décrite au moyen :

- des variables entières (0-1) suivantes :

$x_{i,m,t} = 1$ si l'intervention du patient i est affectée à la salle d'opération m durant le jour t , $= 0$ sinon.

- et des variables réelles positives suivantes :

$Lith_t$ qui indique le nombre de lits d'hospitalisation disponibles le jour t .

$Litr_t$ qui indique le nombre de lits en réanimation disponibles le jour t .

Nous présentons ci-après la formulation mathématique du problème de planification des interventions sous forme d'un programme linéaire mixte.

¹⁷ Pour un patient i de la classe C_2 , $dint_i = d_i + 1$.

¹⁸ $DH_i = DS_i - DR_i - 1$.

3.4.2.3. Modèle mathématique (PL2)

$$\text{Min} \left(\sum_{i \in NC_1} \left[\left(\sum_{m=1}^S \sum_{t=1}^T d(t) \cdot x_{i,m,t} \right) - (Dh_{i+1}) \right] + \sum_{i \in NC_2} \left[\left(\sum_{m=1}^S \sum_{t=1}^T d(t) \cdot x_{i,m,t} \right) + \left(\left(1 - \sum_{m=1}^S \sum_{t=1}^T x_{i,m,t} \right) \cdot d_{\text{int } i} \right) - (r_i + 1) \right] \right) \quad (17)$$

sous les contraintes :

$$\sum_{i \in NC_1 \cup NC_2} x_{i,m,t} D_{\text{tot } i} \leq C_{m,t}, \forall m \in [1..S], \forall t \in [1..T] \quad (18)$$

$$\sum_{m=1}^S \sum_{t=1}^T x_{i,m,t} \leq \sum_{m=1}^S \sum_{t=1}^T x_{j,m,t}, \forall i \in NC_2 / d_{\text{int } i} > d(T), \forall j \in NC_1 \quad (19)$$

$$d(1) \leq \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^S d(t) \cdot x_{i,m,t} \leq d_{\text{int } i}, \forall i \in NC_1 \cup NC_2 / d_{\text{int } i} \leq d(T) \quad (20)$$

$$\sum_{i \in NC_1 \cup NC_2} \sum_{m=1}^S x_{i,m,t} D_{\text{tot } i} \cdot h_{i,p} \leq H_{p,t}, \forall t \in [1..T], \forall p \in [1..L] \quad (21)$$

$$x_{i,m,t} \leq m_{i,m}, \forall m \in [1..S], \forall i \in NC_1 \cup NC_2, \forall t \in [1..T] \quad (22)$$

$$\sum_{m=1}^S \sum_{t=1}^T x_{i,m,t} \leq 1, \forall i \in NC_1 \cup NC_2 \quad (23)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m,t} = 0, \forall i \in NC_2, \forall t \in [1..T] / r_i + 1 > d(t) \quad (24)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m,t} = 0, \forall i \in NC_1, \forall t \in [1..T] / Dh_{i+1} > d(t) \quad (25)$$

$$\sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_2} x_{i,m,t+1} \leq Lith_t, \forall t \in [1..T-1] \quad (26)$$

$$Lith_1 = disp_1 + Libh_1 + \sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_1 / DR_i > 0} x_{i,m,1} \quad (27)$$

$$Lith_t = Lith_{t-1} + Libh_t + \sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_1 \cup NC_2 / t - DR_i - DH_i \geq 1} x_{i,m,t - DR_i - DH_i} - \sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_2} x_{i,m,t} \\ + \sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_1 \cup NC_2 / DR_i \geq 1} x_{i,m,t} - \sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_1 \cup NC_2 / DR_i \geq 1 \& t - DR_i \geq 1} x_{i,m,t - DR_i}, \forall t \in [2..T] \quad (28)$$

$$\sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_1 \cup NC_2 / DR_i \geq 1} x_{i,m,t} \leq Litr_t, \forall t \in [1..T] \quad (29)$$

$$Litr_1 = disp_2 \quad (30)$$

$$Litr_t = Litr_{t-1} + Libr_t + \sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_1 \cup NC_2 / DR_i \geq 1 \& t - DR_i \geq 1} x_{i,m,t - DR_i} - \sum_{m=1}^S \sum_{i \in NC_1 \cup NC_2 / DR_i \geq 1} x_{i,m,t-1}, \forall t \in [2..T] \quad (31)$$

$$x_{i,m,t} = 0, \forall i \in NC_1 \cup NC_2, \forall t \in NO \quad (32)$$

$$x_{i,m,t} \in \{0, 1\}, \forall i \in NC_1 \cup NC_2, \forall m \in [1..S], \forall t \in [1..T] \quad (33)$$

$$Lith_t \geq 0, \forall t \in [1..T] \quad (34)$$

$$Litr_t \geq 0, \forall t \in [1..T] \quad (35)$$

La fonction objectif (17) essaye de minimiser le nombre de jours passés à l'hôpital par les patients de la classe C_1 dans l'attente d'une intervention ainsi que l'écart entre date d'hospitalisation fournie en fin de consultation aux patients de la classe C_2 et celle qui leur sera confirmée. Si l'intervention d'un patient i de la classe C_2 n'a pas été programmée dans l'horizon $[1..T]$ alors le modèle considère une date d'intervention fictive : $dint_i$. L'objectif par ce choix est de pénaliser l'occurrence de ce cas indésirable. Etant donné le faible nombre des patients de la classe C_1 , nous admettons qu'ils sont toujours programmés dans l'horizon $[1..T]$.

Les contraintes (18) permettent de respecter les heures régulières d'ouverture des salles d'opération. En effet, à ce niveau de la planification des interventions, nous ne considérons pas les heures supplémentaires d'ouverture des salles d'opération permises par la législation. Désormais, il s'agit d'un potentiel de flexibilité auquel nous ferons appel afin de faire face aux aléas pouvant perturber la réalisation de ce planning.

La famille de contraintes (19) exprime la priorité des patients de la classe C_1 devant ceux de la classe C_2 . La famille de contraintes (20) permet de respecter la date limite d'intervention. Les contraintes (21) assurent que chaque chirurgien réalise les interventions selon sa disponibilité au bloc opératoire. Une intervention ne peut avoir lieu que dans une salle d'opération où tous les équipements nécessaires sont disponibles (22). Les contraintes (23) assurent qu'une intervention est programmée au plus une fois. Les contraintes (24) indiquent que l'admission d'un patient de la classe C_2 ne peut pas être avancée. En ce qui concerne les patients de la classe C_1 qui ne sont pas encore admis (leur date d'hospitalisation a été confirmée), les contraintes (25) indiquent que leur admission ne peut pas être avancée. Les contraintes (26) assurent que le nombre de patients admis, par jour, est inférieur au nombre de lits d'hospitalisation disponibles. La contrainte (27) permet de déterminer le nombre de lits d'hospitalisation disponibles le premier jour de l'horizon de planification des interventions. Les contraintes (28) permettent de calculer le nombre de lits d'hospitalisation disponibles les autres $(T-1)$ jours de l'horizon de planification des interventions. Il s'agit d'un calcul récursif puisque le nombre de lits disponibles le jour $t+1$ dépend de celui du jour t . Les contraintes (29) assurent que le nombre de patients à opérer par jour, pour lesquels il est prévu un séjour en réanimation, est inférieur au nombre de lits disponibles en réanimation. Les contraintes (31) permettent de calculer, d'une manière récursive, le nombre de lits disponibles en réanimation pour chaque jour de l'horizon $[2..T]$. La contrainte (30) donne le nombre de lits disponibles en réanimation le premier jour de l'horizon de planification des interventions. La réalisation d'une intervention ne peut pas être planifiée pour un jour non ouvrable du bloc opératoire (32). Les contraintes (33) sont des contraintes d'intégrité.

La solution recherchée par ce modèle mathématique représente une aide à la planification des interventions à utiliser dans le cadre du colloque du bloc. En effet, celle-ci est une proposition qu'il faut faire valider par les différents acteurs du bloc. Après cette étape de validation, une prise de contact avec les patients de classe C_2 doit être lancée afin de leur confirmer une date d'hospitalisation. S'il y a un patient de la classe C_2 dont l'intervention n'a pas été programmée dans l'horizon $[1..T]$, il faut programmer celle-ci à partir du deuxième jour de l'horizon suivant (le premier jour de l'horizon de planification des interventions suivant est le jour T) et ce, en tenant compte des disponibilités résiduelles des différentes ressources déterminées à partir de la charge engagée. Les interventions des patients i ayant $dint_i = d(T+1)$ sont programmées les premières, ensuite les interventions des patients i de plus faible r_i et $dint_i$.

4. Expérimentation de la méthode proposée

Afin de valider la méthode proposée, il est important d'explorer les temps de calcul des solutions données par l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation, le programme linéaire en nombres entiers (0-1) de recalcul des dates d'hospitalisation ainsi que le programme linéaire mixte de planification des interventions. Ainsi, nous proposons ici d'expérimenter ces différents modèles sur des exemples académiques. Toutefois, dans le dernier chapitre, nous allons expérimenter la méthode dans un objectif plus large qui illustre les différents niveaux décisionnels abordés.

Nous avons implémenté l'algorithme de détermination de date d'hospitalisation en utilisant le langage de programmation C. Pour la résolution du programme linéaire à variables entières (0-1) et le programme linéaire mixte, nous avons utilisé un logiciel commercial de résolution de programmes linéaires (ILOG OPL Studio 3.0) utilisant la version 7.0 de CPLEX et plus précisément la méthode « Branch-and-Bound » qu'il intègre.

4.1. Expérimentation de l'algorithme de recherche d'une date d'hospitalisation

Dans le tableau 2, nous donnons toutes les données concernant un patient à insérer (P_I) :

- état d'urgence (Urg.),
- durée de séjour (en jours) du patient (DS),
- durée de séjour en réanimation (en jours) du patient (DR),
- durée en minutes de l'intervention (DI),
- date au plus tôt d'hospitalisation (Date tôt),
- date au plus tard d'hospitalisation (Date tard),
- date au plus tôt d'hospitalisation préférée par le patient à insérer (r_p),
- date au plus tard d'hospitalisation préférée par le patient à insérer (d_p).

Nous présentons également quelques résultats concernant l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation :

- la date d'hospitalisation proposée (Date Hosp.),
- le temps, en secondes, au bout duquel cette date d'hospitalisation a été déterminée (T1(s)),
- le temps, en secondes, au bout duquel cette date d'hospitalisation a été déterminée dans le cas d'un déplacement de dates d'hospitalisation pour l'insertion d'un patient urgent (T2(s)). Contrairement à T1(s), ce temps inclut le temps de mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle (pas 5 de l'algorithme).

P_I	Urg.	DS	DR	DI	Date Tôt	Date tard	r _p	d _p	Date Hosp.	T1(s)	T2(s)
1	Non	2	0	55	1	36	8	18	8	0.000	-
2	Oui	4	2	150	8	18	8	18	8	0.020	-
3	Non	3	1	130	1	36	15	22	-	0.000	-
4*	Oui	3	1	130	15	22	15	22	15	0.631	5.368
5	Oui	3	1	130	15	25	20	25	24	0.020	-
6	Oui	3	1	130	22	23	22	23	23	0.190	7.531
7	Oui	5	2	120	2	12	7	12	7	0.021	-
8	Non	4	0	180	1	36	22	28	24	0.000	-
9	Oui	4	1	160	20	28	20	25	25	0.020	-
10	Oui	4	1	140	16	18	16	18	17	0.261	7.261
11	Non	6	3	200	1	36	20	28	25	0.000	-
12	Oui	6	3	200	20	28	20	28	25	0.010	-

(*) Il a été impossible d'insérer la prise en charge du patient dont la date d'hospitalisation est à reporter.

Tableau 2 : Résultats obtenus par l'algorithme de détermination de date d'hospitalisation

Dans cette expérimentation, nous avons eu recours à la liste des patients et à la matrice de disponibilité résiduelle correspondant au problème N°15 considéré dans l'expérimentation du modèle de recalcul de dates d'hospitalisation (voir tableau 3). Ainsi, la matrice de disponibilité résiduelle intègre les résultats de mise à jour.

Les deux premières insertions sont successives (la deuxième insertion utilise la matrice de disponibilité résiduelle tenant compte de la première). Les quatre insertions suivantes utilisent la même matrice de disponibilité résiduelle, celle tenant compte des deux premières insertions. La septième insertion utilise la matrice de disponibilité résiduelle correspondant au problème N°15 (la même que celle utilisée pour la première insertion). La huitième insertion tient compte de la septième insertion. Les quatre insertions suivantes (9, 10, 11 et 12) utilisent la même matrice de disponibilité résiduelle, celle tenant compte des deux insertions qui les précèdent (7 et 8).

L'algorithme permet la recherche d'une date d'hospitalisation en un temps réduit (inférieur à 8 secondes pour les 12 insertions effectuées). Ce résultat permet d'ores et déjà de justifier l'utilisation de l'algorithme pour la recherche on-line d'une date d'hospitalisation. L'expérimentation du modèle de recalcul des dates d'hospitalisation que nous exposons dans la partie suivante permettra de consolider ce résultat.

4.2. Expérimentation du programme linéaire en nombres entiers (0-1) de recalcul des dates d'hospitalisation

Afin de valider le modèle de recalcul des dates d'hospitalisation, nous avons eu recours à une série de problèmes académiques. Dans tous ces problèmes, nous avons considéré le cas d'un système de soins comportant 35 lits d'hospitalisation, 8 lits de réanimation et un bloc opératoire composé de 3 salles d'opération.

Dans le tableau 3, nous donnons les capacités effectives des ressources critiques. Nous avons supposé que celles-ci dépendent uniquement du jour de la semaine.

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Lits hospitalisation (lits)	32	32	31	32	31	29	30
Lits réanimation (lits)	6	6	6	5	5	5	6
Bloc opératoire (mn ¹⁹)	1200	1200	1140	1200	1140	0	0

Tableau 3 : Capacités effectives en fonction du jour de la semaine

L'ensemble des problèmes considérés peuvent être partagés principalement (sans inclure le premier problème) en deux sous-groupes. Dans le premier problème, nous avons utilisé la matrice de disponibilité résiduelle basée sur la charge engagée (A°) calculée à partir de la solution de planification des interventions proposée pour le problème N°1 décrit dans le tableau 5. Tous les problèmes du premier sous-groupe considèrent comme matrice de disponibilité résiduelle basée sur la charge engagée celle calculée suite à la planification des interventions proposée pour le problème N°3 présenté dans le tableau 5. Les problèmes du deuxième sous-groupe considèrent comme matrice de disponibilité résiduelle basée sur la charge engagée celle calculée suite à la planification des interventions proposée pour le problème N°8 présenté dans le tableau 5.

Dans chaque sous-groupe, d'un problème à l'autre, c'est la liste des patients dont la date d'hospitalisation sera recalculée dans la mise à jour (la liste L_3) et/ou l'horizon de temps $[\Delta_{h,d+1}+1, H_d]$, plus précisément H_d , qui change. La liste L_3 est modifiée soit en variant le nombre de patients, soit en variant les dates d'hospitalisation des patients fournies en fin de consultation ainsi que les dates d'hospitalisation au plus tard.

Les prévisions du processus de soins considéré (durée de séjour à l'hôpital, durée d'utilisation de la salle opératoire, durée de séjour prévue en réanimation), les dates d'hospitalisation des patients fournies en fin de consultation, les dates d'hospitalisation au plus tard ont été générées aléatoirement.

Le tableau 4 rapporte les résultats de recalcul des dates d'hospitalisation en vue de mettre à jour la matrice de disponibilité résiduelle. Pour chaque problème traité, référencé par un numéro (N°), nous donnons :

- le nombre de patients dont la date d'hospitalisation est recalculée dans la mise à jour (NL_3),
- l'horizon de temps (en jours) où sont recalculées les dates d'hospitalisation (Horizon²⁰),
- le rapport entre le nombre de patients et l'horizon de temps considérés (N./H.),
- le nombre de contraintes (Nbre. Cont.),
- le nombre de variables (Nbre. Var.),
- la valeur de la fonction objectif considérée en jours (Z),
- le temps de calcul en secondes de la solution (T(s)),
- l'écart moyen, en jours, entre date d'hospitalisation déterminée par le programme linéaire de recalcul des dates d'hospitalisation et date d'hospitalisation fournie au patient en fin de consultation (E.M.²¹).

La valeur de la fonction objectif n'est pas optimale si elle est suivie d'une étoile. Il s'agit de la meilleure solution obtenue après le temps de calcul T(s) correspondant.

¹⁹ En minutes.

²⁰ Horizon = $H_d - \Delta_{h,d+1}$

²¹ E.M. = $\frac{Z}{NL_3}$

	N°	NL ₃	Horizon	N./H.	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Z	T(s)	E.M.
	1	77	22	3.50	295	1694	71	8.76	0.92
Sous-groupe 1	2	91	22	4.13	337	2002	77	9.15	0.84
	3	104	22	4.72	376	2288	118	9090.34	1.13
	4	104	29	3.58	397	3016	111	44.21	1.06
	5						101	26.46	0.97
	6						80	12.53	0.76
	7	130	29	4.48	475	3770	181	24924.10	1.39
	8	130					141	1588.30	1.08
	9	160	29	5.51	565	4640	342*	2729.43	2.13
	10	160	36	4.44	586	5760	233	4281.43	1.45
	11	190	36	5.27	676	6840	506*	4009.59	2.66
							504*	68896.52	2.65
Sous-groupe 2	12	91	22	4.13	337	2002	56	9.36	0.61
	13	104	22	4.72	376	2288	97	25.07	0.93
	14	104	29	3.58	397	3016	74	13.26	0.71
	15	130	29	4.48	475	3770	126	12463.58	0.96
	16	120	29	4.13	445	3480	103	163.67	0.85
	17	150	36	4.16	556	5400	162	251.52	1.08
	18	200	36	5.55	706	7200	624*	3823	3.12
							612*	74152.07	3.06

Tableau 4 : Résultats du recalcul des dates d'hospitalisation

L'expérimentation montre que les temps de résolution du modèle de recalcul des dates d'hospitalisation peuvent être importants. Nous avons obtenu une solution optimale pour 15 problèmes parmi les 18 traités. Dans 73% des cas, une solution optimale a été trouvée en un temps relativement réduit (inférieur à une heure).

Par ailleurs, les résultats obtenus pour les problèmes N°4, N°5 et N°6 d'une part, et les problèmes N°7 et N°8 d'autre part, permettent de constater que l'écart moyen (E.M.) entre date d'admission donnée par la solution du modèle mathématique (PL1) et date fournie au patient en fin de consultation dépend de la méthode utilisée. Cet écart moyen dépend également de la charge engagée du système de soins. En effet, les listes de patients L₃ considérées dans les problèmes N°12, N°13, N°14 et N°15, sont respectivement les mêmes considérées dans les problèmes N°2, N°3, N°6 et N°8. Ainsi, il est clair que plus la charge engagée est importante, plus l'écart moyen entre date d'admission donnée par la solution du modèle mathématique (PL1) et date fournie au patient en fin de consultation est important.

Les problèmes 3 et 4 ainsi que les problèmes 9 et 10 considèrent la même matrice de disponibilité résiduelle basée sur la charge engagée et la même liste de patients L₃. En augmentant l'horizon de temps, l'écart moyen entre date d'admission donnée par la solution du modèle mathématique (PL1) et date fournie au patient en fin de consultation (E.M.) diminue. Nous préconisons ainsi une date d'hospitalisation fournie au patient en fin de consultation plus fiable.

Pour une capacité donnée en ressources critiques, une même charge engagée et une même méthode de recherche de date d'hospitalisation, nous préconisons une date d'hospitalisation en fin de consultation plus fiable quand le nombre de patients considérés n'est pas important par rapport à l'horizon de temps.

L'expérimentation de la méthode a donné des temps de calcul réduits pour l'algorithme, des temps pouvant être importants pour le programme linéaire à variables entières en fonction du nombre de

patients et de l'horizon de temps considérés. Ce résultat nous semble bien justifier l'utilisation conjointe de l'algorithme et du programme linéaire à variables entières. L'algorithme permet ainsi de fournir au patient, en sa présence et de façon rapide, une date d'hospitalisation mais cette date n'est pas nécessairement optimale. Le programme linéaire à variables entières intégrant les différents aléas permet, en fin de journée, d'aller plus vers une solution optimale en un temps beaucoup plus important.

4.3. Expérimentation du programme linéaire mixte de planification des interventions

Nous présentons dans ce paragraphe, les résultats des tests conduits sur une série de problèmes de planification des interventions. Dans tous ces problèmes, nous avons considéré le cas d'un système de soins comportant 35 lits d'hospitalisation, 8 lits de réanimation et un bloc opératoire composé de 3 salles d'opération. La durée d'ouverture de chaque salle d'opération, en heures régulières, est de 480 minutes pendant les jours ouvrables. Quatre chirurgiens opèrent dans le bloc. Les temps de travail maximaux en minutes des chirurgiens (indexés par p) pendant chaque jour ouvrable t ($H_{p,t}$) sont respectivement (720,720,480,480). En effet, nous supposons qu'un chirurgien travaille régulièrement 8 heures par jour et qu'il n'est pas obligé de travailler des heures supplémentaires. Par exemple, nous avons considéré ici que deux parmi les quatre chirurgiens acceptent de travailler pendant les heures supplémentaires, s'il y a nécessité.

Nous avons également étudié, dans tous les problèmes, ce système de soins avec une même charge engagée initialement en considérant un ensemble unique de patients déjà hospitalisés et opérés et de patients de classe C_1 (16 patients déjà hospitalisés et opérés et 9 patients de classe C_1). Toutefois, le nombre de patients de classe C_2 et les prévisions de processus de soins sont différents d'un exemple à un autre.

Par ailleurs, nous soulignons que ces problèmes peuvent être partagés en deux principaux sous-groupes. Dans chaque sous-groupe, d'un exemple à l'autre, c'est le nombre de patients de classe C_2 qui est augmenté (la charge du système).

Les prévisions de processus de soins considérés, les dates d'hospitalisation des patients, les dates d'hospitalisation fournies en fin de consultation aux patients de classe C_2 , les dates d'intervention au plus tard ainsi que les paramètres précisant le chirurgien chargé d'une intervention ($\eta_{i,p}$) et la salle d'opération comportant l'équipement nécessaire à la réalisation d'une intervention ($\mu_{i,m}$) ont été générés aléatoirement.

Le tableau 5 rapporte les résultats de la planification des interventions sur l'horizon de 8 jours, dont 6 jours sont ouvrables. Pour chaque problème traité, référé par un numéro (N°), nous donnons :

- le nombre de patients de classe C_2 considérés (NC_2),
- le nombre de contraintes (Nbre. Cont.),
- le nombre de variables (Nbre. Var.),
- la valeur de la fonction objectif considérée en jours (Z),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($T(s)$),
- le nombre de patients de classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas la même que celle confirmée (N_NF),
- le pourcentage de patients de classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas la même que celle confirmée ($\%N_NF$),

- la somme du nombre de jours passés à l'hôpital par les patients de classe C_1 dans l'attente d'une intervention et des écarts, en jours, entre dates d'hospitalisation fournies en fin de consultation aux patients de classe C_2 et dates confirmées ($Z_{\text{corrigé}}$).

Nous précisons que la somme du nombre de jours passés à l'hôpital par les patients de classe C_1 dans l'attente d'une intervention et des écarts, en jours, entre dates d'hospitalisation fournies en fin de consultation aux patients de classe C_2 et dates confirmées ($Z_{\text{corrigé}}$), considère les dates d'hospitalisation réellement confirmées. Désormais, s'il existe des patients dont l'intervention n'a pas été programmée par le modèle de planification, cette somme tiendra compte de la date d'hospitalisation confirmée à ces derniers. Ainsi, dans le cas où l'intervention de tous les patients de la classe C_2 sont programmées par le modèle de planification, cette somme est égale à la valeur de la fonction objectif considérée.

	N°	NC ₂	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Z	T(s)	N_NF	%N_NF	Z _{corrigé}
Sous-groupe 1	1	40	1925	1192	7	4.77	4	10.0	7
	2	45	2138	1312	6	2.94	3	6.6	6
	3	50	2322	1432	23	7.80	8	16.0	23
	4	55	2542	1552	23	4.86	5	9.0	23
	5	60	2762	1672	23	234.00	9	15.0	23
	6	65	2964	1792	51*	2349.35	12	18.4	39
					50*	74175.90	-	-	-
7	70	3182	1912	114*	3990.00	16	22.8	75	
				91*	73089.68	-	-	-	
Sous-groupe 2	8	50	2370	1432	6	5.59	3	6.0	6
	9	55	2588	1552	6	11.52	3	5.4	6
	10	59	2730	1648	24*	2956.78	-	-	-
					24*	14908.65	6	10.1	22
	11	60	2774	1672	26*	17000.00	-	-	-
					25*	136473.00	7	11.6	23
	12	65	2976	1792	46	1895.78	10	15.3	36
13	70	3178	1912	69*	3611.50	-	-	-	
				68*	5929.74	13	18.5	51	

(*) C'est la meilleure solution (elle n'est pas nécessairement optimale) trouvée après le temps de calcul indiqué.

Tableau 5 : Résultats de la planification des interventions

L'expérimentation montre que les temps de résolution du modèle de planification des interventions peuvent être importants. Parmi les 13 problèmes traités, une planification des interventions optimale a été proposée en un temps relativement réduit (inférieur à une heure) pour 8 problèmes. Pour les cinq autres problèmes, aucune solution optimale n'a été trouvée même après des temps de calcul importants.

Bien que, à première vue, le temps de calcul d'une solution optimale du problème de planification des interventions semble dépendre du nombre de patients de la classe C_2 considérés ainsi que des données relatives (processus de soins, dates d'hospitalisation fournie en fin de consultation, dates au plus tard d'hospitalisation, chirurgien chargé de chaque intervention et salle d'opération comportant l'équipement nécessaire à la réalisation de chaque intervention), les résultats obtenus dans le cas des problèmes 11 et 12 mettent bien en cause cette conclusion.

Toutefois, nous avons obtenu une planification des interventions optimale en un temps faible pour tous les problèmes où le nombre de patients de la classe C_2 est inférieur ou égal à 55 (le nombre

total d'interventions considérées par le modèle est de 64). Pour les 9 problèmes où le nombre de patients de la classe C_2 est inférieur ou égal à 60, 7 ont été résolus d'une façon optimale en un temps faible.

Par ailleurs, les résultats obtenus pour les problèmes 3 et 4 montrent que le nombre de patients de la classe C_2 dont la date d'hospitalisation confirmée n'est pas la même que celle fournie en fin de consultation (N_{NF}), est indépendant du nombre de patients considérés. Le problème 4 est posé en rajoutant uniquement cinq patients de classe C_2 à ceux du problème 3 : nous pouvons constater que le modèle de planification des interventions ne permet pas de minimiser le nombre de patients dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas confirmée. Cette constatation est confirmée en recourant à la fonction objectif suivante :

$$Max Z = \sum_{i \in NC_1} \sum_{m=1}^S x_{i,m, \text{Max}(1, Dh_i - d(1)+2)} + \sum_{i \in NC_2} \sum_{m=1}^S x_{i,m, n-d(1)+2}$$

Cette fonction consiste à maximiser le nombre de patients de la classe C_1 programmés le premier jour de l'horizon de planification ainsi que les patients de la classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation est confirmée. Elle permet ainsi de minimiser l'attente des patients de la classe C_1 pour l'intervention ainsi que le nombre de patients de la classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas confirmée (puisque l'intervention d'un patient de classe C_2 ne peut être programmée qu'à partir du deuxième jour de l'horizon de planification).

En résolvant le modèle de planification des interventions correspondant au problème 3 en considérant la fonction objectif Z' , nous obtenons $Z'=53$ avec $\sum_{i \in NC_1} \sum_{m=1}^S x_{i,m,1}=8$.

Ainsi le nombre minimal de patients de la classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas confirmée est de 5.

En résolvant le modèle de planification des interventions correspondant au problème 4 en considérant la fonction objectif Z' , nous obtenons $Z'=58$ avec $\sum_{i \in NC_1} \sum_{m=1}^S x_{i,m,1}=8$.

Ainsi le nombre minimal de patients de la classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas confirmée est de 5.

Dans la suite, nous proposons, pour la planification des interventions, une approche heuristique basée sur le principe de décomposition. L'objectif est de trouver une planification des interventions en un temps moins important que celui donné par le modèle mathématique. L'utilisation de cette heuristique est évidemment recommandée dans le cas où le temps de résolution du programme linéaire mixte est important sans nécessairement aboutir à une solution optimale.

4.4. Une approche heuristique pour la planification des interventions

Il s'agit de planifier les interventions d'une façon séquentielle de jour en jour. Pour planifier les interventions durant un jour $t \in [1..T]$, nous considérons un programme linéaire mixte que nous avons développé à partir de celui de planification des interventions sur l'horizon de T jours.

L'ensemble $N(t)$ des patients i à considérer dans la planification des interventions du jour t est :

$$N(t) = \Psi(t) \setminus \Pi(t) \text{ où}$$

$$\Pi(t) = \{i \in NC_1 \cup NC_2 / \text{l'intervention du patient } i \text{ a été programmée pour un jour } t' < t\}.$$

$\Psi(t) = \{i \in NC_1 / D_h(i) + 1 \leq d(t)\} \cup \{i \in NC_2 / r_i + 1 \leq d(t)\}$. $\Psi(t)$ désigne ainsi l'ensemble des patients de classe C_1 et de classe C_2 dont l'intervention peut être programmée le jour t ou avant le jour t .

La solution cherchée sera décrite au moyen des variables entières (0-1) :

$x_{i,m} = 1$ si l'intervention du patient i est affectée à la salle d'opération m , $= 0$ sinon.

$Lith_t$ indique le nombre de lits d'hospitalisation disponibles le jour t .

$Litr_t$ indique le nombre de lits en réanimation disponibles le jour t .

Toutefois, $Lith_t$ et $Litr_t$ indiquant respectivement le nombre de lits d'hospitalisation disponibles le jour t et le nombre de lits en réanimation disponibles le jour t , ne sont plus considérés ici comme des variables du modèle. Elles représentent des données du problème qui sont déterminées d'une façon récursive (de jour en jour).

Les autres notations utilisées dans la formulation du problème de planification des interventions durant un jour t sont les mêmes que celles employées dans la formulation du problème de planification des interventions sur l'horizon de T jours.

4.4.1. Modèle de planification des interventions durant un jour

$$(PL3) \text{ Max } \sum_{i \in N(t)} \sum_{m=1}^S x_{i,m} \quad (36)$$

sous les contraintes :

$$\sum_{i \in N(t)} x_{i,m} Dtot_i \leq C_{m,t}, \forall m \in [1..S] \quad (37)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} \leq \sum_{m=1}^S x_{j,m}, \forall i \in NC_2 \cap N(t) / dint_i > d(t), \forall j \in NC_1 \cap N(t) \quad (38)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} = 1, \forall i \in N(t) / dint_i = d(t) \quad (39)$$

$$\sum_{i \in N(t)} \sum_{m=1}^S x_{i,m} Dtot_i \mathbf{h}_{i,p} \leq H_{p,t}, \forall p \in [1..L] \quad (40)$$

$$x_{i,m} \leq \mathbf{m}_{m}, \forall m \in [1..S], \forall i \in N(t) \quad (41)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} \leq 1, \forall i \in N(t) \quad (42)$$

$$\sum_{m=1}^S \sum_{i \in N(t) \cap NC_2} x_{i,m} \leq Lith_t \quad (43)$$

$$\sum_{m=1}^S \sum_{i \in N(t) / DR_i \geq 1} x_{i,m} \leq Litr_t \quad (44)$$

$$x_{i,m} \in \{0,1\}, \forall i \in N(t), \forall m \in [1..S] \quad (45)$$

La fonction objectif (36) maximise le nombre d'interventions programmées durant le jour de planification considéré. Les contraintes (37) permettent de respecter les heures régulières d'ouverture des salles d'opération. Les contraintes (38) expriment la priorité des patients de la

classe C_1 devant ceux de la classe C_2 . La famille de contraintes (39) permet de respecter la date limite d'intervention. Les contraintes (40) assurent que chaque chirurgien réalise les interventions selon sa disponibilité au bloc opératoire. Une intervention ne peut avoir lieu que dans une salle d'opération où tous les équipements nécessaires sont disponibles (41). Les contraintes (42) assurent qu'une intervention est programmée au plus une fois. Les contraintes (43) assurent que le nombre de patients admis, par jour, est inférieur au nombre de lits d'hospitalisation disponibles. Les contraintes (44) assurent que le nombre de patients à opérer durant le jour de planification considéré, pour lesquels il est prévu un séjour en réanimation, est inférieur au nombre de lits disponibles en réanimation. Les contraintes (45) sont des contraintes d'intégrité.

4.4.2. Heuristique de planification des interventions

L'heuristique fera appel aux nouvelles notations suivantes :

$P(t)$ désigne l'ensemble des patients dont l'intervention a été planifiée pour le jour t ($\Pi(t) = \bigcup_{t' < t} P(t')$).

$E_1(t)$ désigne l'ensemble des patients dont une sortie est prévue pour le jour t .

$$E_1(t) = \{i \in \Psi(t) / t - DR_i - DH_i \geq 1 \ \& \ i \in P(t - DR_i - DH_i)\}.$$

$E_2(t)$ désigne l'ensemble des patients à hospitaliser en service de réanimation le jour t (il s'agit des patients pour lesquels il est prévu un séjour en réanimation après l'intervention chirurgicale).

$$E_2(t) = \{i \in N(t) / DR_i \geq 1 \ \& \ i \in P(t)\}.$$

$E_3(t)$ désigne l'ensemble des patients qui vont retourner au service d'hospitalisation le jour t après un séjour au service de réanimation.

$$E_3(t) = \{i \in \Psi(t) / DR_i \geq 1 \ \& \ t - DR_i \geq 1 \ \& \ i \in P(t - DR_i)\}.$$

Les cardinaux des ensembles $E_1(t)$, $E_2(t)$ et $E_3(t)$ permettent le calcul de $Lith_t$ et $Litr_t$. En effet, nous avons :

$$Lith_t = Lith_{t-1} + Libh_t + \text{card}^{22}(E_1(t)) + \text{card}(E_2(t)) - \text{card}(E_3(t)).$$

$$Litr_t = Litr_{t-1} + Libr_t - \text{card}(E_2(t)) + \text{card}(E_3(t)).$$

Nous rappelons que $Libh_t$ et $Libr_t$ désignent respectivement le nombre de lits d'hospitalisation et le nombre de lits en réanimation qui vont se libérer le jour t .

L'algorithme de l'heuristique proposée est représenté sous forme d'organigramme (voir figure 18).

²² $\text{card}(E)$ dénote le nombre d'éléments de l'ensemble E .

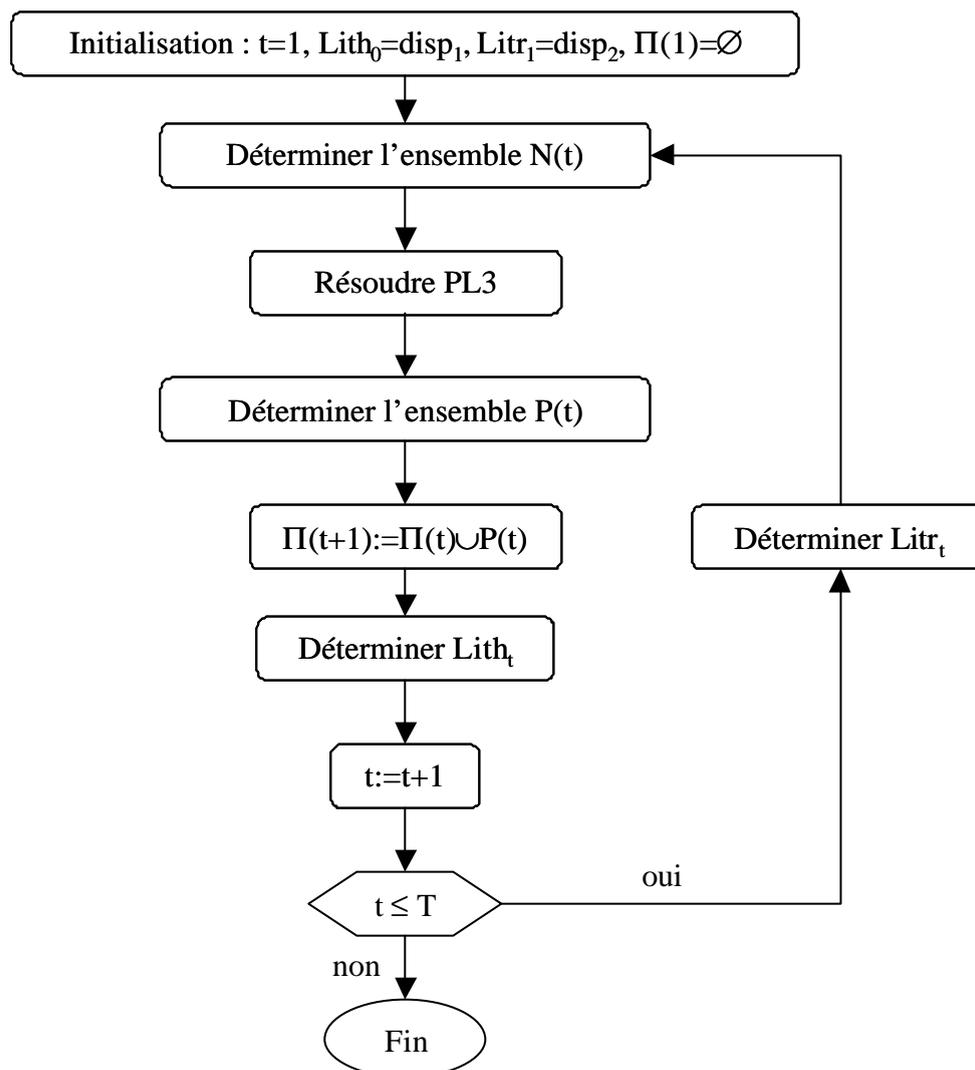


Figure 18 : L'algorithme de planification des interventions

Dans le cas où à la fin de l'algorithme, il existe encore des patients de la classe C_2 dont les interventions n'ont pas été programmées dans l'horizon $[1..T]$, il faut programmer celles-ci à partir du deuxième jour de l'horizon suivant (le premier jour de l'horizon de planification des interventions suivant est le jour T) et ce, en tenant compte des disponibilités résiduelles des différentes ressources déterminées à partir de la charge engagée. Nous pouvons procéder de deux manières :

- comme nous l'avons déjà évoqué précédemment (dans la partie 3.4.2.3.), les interventions des patients i ayant $dint_i = d(T+1)$ sont programmées les premières, viennent ensuite les interventions des patients i de plus faibles r_i et $dint_i$.
- les interventions restantes sont programmées en poursuivant l'application de l'algorithme sur les jours qui suivent le jour T . Dans ce cas, le test d'arrêt de l'algorithme devient : « $N(t)$ est vide ? ». Ce test permet de savoir si toutes les interventions sont programmées ou pas au jour t .

A titre illustratif, nous avons appliqué l'algorithme de l'heuristique ainsi proposé sur le problème N°13 (voir tableau 5).

Dans le tableau 6, nous détaillons les résultats obtenus en appliquant l'heuristique de planification des interventions. Nous donnons pour chaque jour t de l'horizon $[1..T]$ concerné par la planification des interventions :

- le nombre de patients considérés par la planification des interventions du jour t (Card $N(t)$),
- le nombre de contraintes (Nbre. Cont.),
- le nombre de variables (Nbre. Var.),
- la valeur de la fonction objectif ($Z(PL3)$),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($T(s)$).

Dans le tableau 7, nous présentons quelques performances obtenues en appliquant l'heuristique. L'objectif est de confronter ces résultats à ceux obtenus dans le cas de la planification des interventions utilisant le modèle PL2. Les performances explorées sont :

- le temps de calcul en secondes d'obtention de la solution globale ($\sum T(s)$),
- le nombre de patients de classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas la même que celle confirmée (N_NF),
- le pourcentage de patients de classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas la même que celle confirmée ($\%N_NF$),
- la somme du nombre de jours passés à l'hôpital par les patients de la classe C_1 dans l'attente d'une intervention et des écarts, en jours, entre dates d'hospitalisation fournies en fin de consultation aux patients de la classe C_2 et celles confirmées ($Z_corrigé$).

t	Card N(t)	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Z(PL3)	T(s)
1	9	47	29	8	6.49
2	13	73	39	9	0.93
3	16	73	48	12	1.08
4	19	85	57	11	1.18
5	24	105	72	10	1.48
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	29	125	87	19	3.14

Tableau 6 : Résultats de l'heuristique obtenus pour le problème N°13

	Heuristique	Modèle mathématique
$\sum T(s)$	14.30	5929.74
N_NF	23	13
$\%N_NF$	32.8	18.5
$Z_corrigé$	42	51

Tableau 7 : Performances obtenus par l'heuristique et par le modèle de planification (PL2)

En se référant aux résultats obtenus dans la planification des interventions dans le cas du problème N°13, nous pouvons constater que l'heuristique a permis d'aboutir à une solution en un temps relativement réduit pour un « $Z_corrigé$ » moins important que celui obtenu dans le cas de l'utilisation modèle de planification des interventions PL2. Toutefois, le nombre de patients de classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas la même que celle confirmée (N_NF) est plus important que celui obtenu dans le cas de l'utilisation du modèle PL2.

Il faut simplement remarquer ici que le modèle PL2 ne permet pas de minimiser N_NF , l'heuristique non plus. Aucune explication ne peut ainsi être tirée quant au résultat obtenu pour N_NF .

Comme l'heuristique n'a pas été appliquée sur un nombre important d'exemples, nous ne pouvons pas avancer de conclusions sur les résultats concernant $Z_{\text{corrigé}}$. Néanmoins, nous pouvons recommander l'utilisation des deux approches de planification des interventions sur l'horizon de T jours. La solution retenue sera celle qui donne le meilleur résultat en termes de performances considérées par les acteurs du système de soins comme prioritaires.

Par ailleurs, il serait intéressant de recourir à une approche multi-objectifs [Guitouni, 2000] pour une planification des interventions qui essaye également de minimiser le nombre de patients de classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas la même que celle confirmée (N_{NF}).

5. Conclusion

Nous avons présenté une méthode pour la planification des admissions centrée sur le processus de soins que doit suivre le patient. Cette méthode utilise un algorithme qui fournit une date d'hospitalisation au patient, en sa présence et en un temps faible. Par ailleurs, un programme linéaire à variables entières permet la mise à jour de la matrice de disponibilités résiduelles intégrant les aléas qui ont pu avoir lieu.

Certaines dates d'hospitalisation fournies en fin de consultation sont à confirmer. En effet, afin de rendre possible la prise en charge de patients venant en urgence, nous avons considéré qu'il est possible de reporter la date d'hospitalisation d'un patient fournie en fin de consultation, tant que cette date n'a pas encore été confirmée. Pour la confirmation des dates d'hospitalisation, nous avons proposé l'utilisation d'un modèle de planification des interventions sur l'horizon de T jours.

Toutefois, l'aspect aléatoire inhérent à l'activité chirurgicale oblige souvent à réviser ce programme opératoire prévisionnel. Dans le chapitre suivant, nous proposons la construction d'un programme opératoire journalier permettant, entre autres, de mettre à jour le programme opératoire établi sur l'horizon de T jours en intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu dans le système de soins tel que le report d'interventions par suite de la prise en compte de cas urgents.

Chapitre 4 : Quelques stratégies pour la construction d'un programme opératoire

Dans ce chapitre, nous explorons différentes stratégies de programmation opératoire à travers une évaluation de leurs performances.

1. Introduction

Le bloc opératoire représente un secteur hautement stratégique dans la majorité des systèmes hospitaliers. De par l'immobilisation de diverses compétences, l'exploitation du bloc opératoire consomme 9% du budget annuel d'un établissement [Gordon *et al.*, 1988]. Le bloc opératoire est, de plus, une ressource goulot de l'hôpital puisque la majorité des processus de soins suivis par les patients hospitalisés comportent une étape chirurgicale.

Désormais, une optimisation du fonctionnement du bloc opératoire, en maîtrisant au plus l'utilisation des ressources aussi bien humaines que matérielles, est une nécessité, notamment dans un contexte de croissance de la demande de soins, d'une mutation vers le contrôle des dépenses de santé, et d'une amélioration de l'efficacité et de la productivité du secteur hospitalier. Devant cette mutation nécessaire, les systèmes hospitaliers expriment de plus en plus un besoin d'être assistés par des outils d'aide à la décision afin de mieux rentabiliser leur structure en assurant au patient un service rendu adapté et de qualité, pour un coût maîtrisé, dans le respect des conditions de travail et de rémunération de l'ensemble des acteurs de l'établissement.

Le fonctionnement du bloc opératoire est déterminé par un programme opératoire qui précise les interventions à réaliser, ainsi que les différentes ressources affectées à chaque intervention. Dans ce milieu fortement contraint par les ressources, les conditions d'hygiène, de sécurité et de qualité, cible de différentes perturbations, il devient ainsi important de proposer aux responsables des blocs opératoires des outils d'aide à la programmation opératoire.

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé la problématique de construction d'un programme opératoire sur l'horizon de T jours. Toutefois, l'aspect aléatoire inhérent à l'activité chirurgicale oblige souvent à réviser ce programme opératoire prévisionnel. Il arrive par exemple souvent qu'une partie de l'activité relève du domaine des urgences et donc elle n'est pas programmée à l'avance.

Dans ce chapitre, nous proposons une construction d'un programme opératoire journalier. Cette construction est à double objectifs : d'une part, mettre à jour le programme opératoire établi sur l'horizon de T jours en intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu dans la système de soins tel que le report d'interventions à cause de la prise en compte de cas urgents ; d'autre part, préciser l'ordre de réalisation des interventions en considérant les ressources critiques utilisées dans le processus opératoire. Nous proposons pour cela une construction du programme opératoire journalier en deux étapes :

- la première étape consiste à préciser les interventions à réaliser durant la journée concernée en leur attribuant des ressources,
- la deuxième étape consiste à fixer l'ordre d'exécution des interventions.

Nous présentons quelques stratégies de construction d'un programme opératoire journalier. Désormais, la sélection d'une stratégie dépendra du type d'interventions réalisées, des caractéristiques du bloc opératoire, des priorités qui peuvent exister entre les interventions, également des avantages que peut présenter celle-ci en terme de productivité.

Nous présentons tout d'abord le problème de la programmation opératoire en précisant ses pré-requis. A l'issue de la description de ce problème, nous proposons une méthode à deux étapes pour la construction du programme opératoire. Nous consacrons ensuite la troisième partie de ce chapitre à la description de la première étape de notre méthode qui consiste à affecter les interventions aux salles d'opération. Dans la quatrième partie, nous présentons la deuxième étape qui consiste à

ordonnancer les interventions. Différentes stratégies d'affectation et d'ordonnancement seront exposées et expérimentées.

2. Pré-requis de la programmation opératoire

Pour établir un programme opératoire, il est nécessaire de connaître le circuit emprunté par le patient, les étapes d'une intervention chirurgicale ainsi que les ressources qui y participent et les différentes durées opératoires.

2.1. Flux de patients et processus chirurgical

Une étude des flux de patients passant par le bloc opératoire montre une diversité de routages (voir figure 19). Les deux routages les plus fréquents pour un patient programmé sont :

- Lit d'hospitalisation → Salle d'opération → Salle de Soins Post-Interventionnelle (SSPI) → Lit d'hospitalisation,
- Lit d'hospitalisation → Salle d'opération → SSPI → Lit en réanimation → Lit d'hospitalisation.

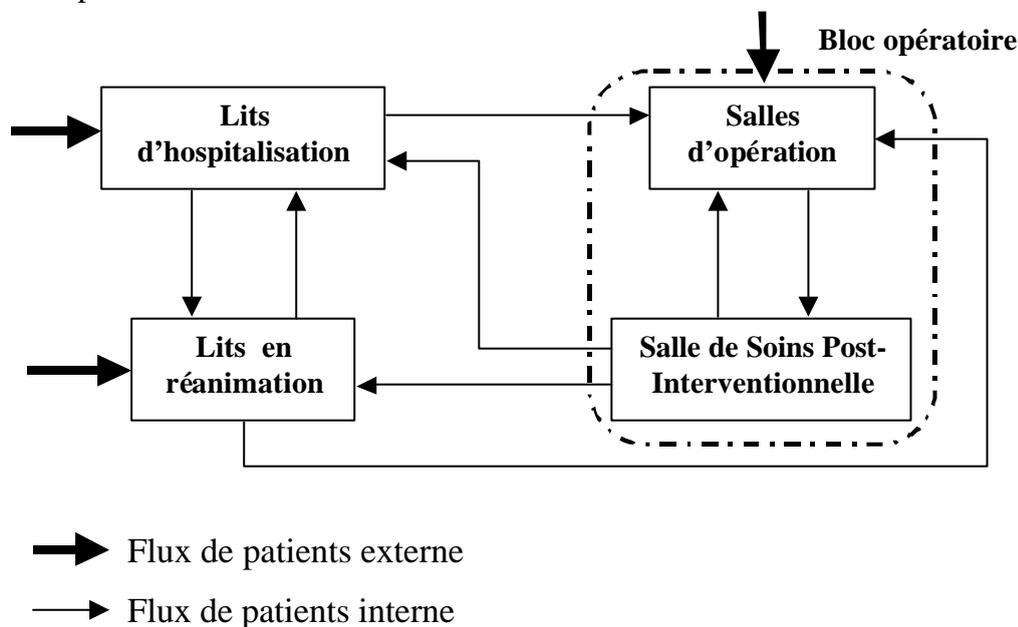


Figure 19 : Flux de patients dans le service de chirurgie

Différentes ressources sont nécessaires à la réalisation d'une intervention. Ces ressources interviennent selon un mode d'intervention mixte, série-parallèle [Jebali *et al.*, 2001]. Une intervention chirurgicale est une activité d'un processus de soins passant par la chirurgie. Nous avons opté pour une représentation de cette activité en fonction des ressources qui y interviennent vu l'existence de contraintes de précédence entre les opérations (anesthésie, chirurgie, ...) qui la composent.

La figure 20 représente une vue de l'intervention chirurgicale à partir de quelques ressources qui y interviennent. Nous désignons par équipe anesthésique une agrégation de l'ensemble composé par les infirmières anesthésistes (IADE) et le médecin anesthésiste-réanimateur. De même, nous désignons par équipe chirurgicale une agrégation de l'ensemble composé par une ou deux infirmières chirurgicales (IBODE) et du chirurgien. Une équipe anesthésique, une équipe chirurgicale, une salle d'opération, un lit et des infirmières en SSPI, du matériel d'anesthésie et de

chirurgie ainsi que des aides-soignants et des brancardiers sont nécessaires à la réalisation de chaque intervention chirurgicale.

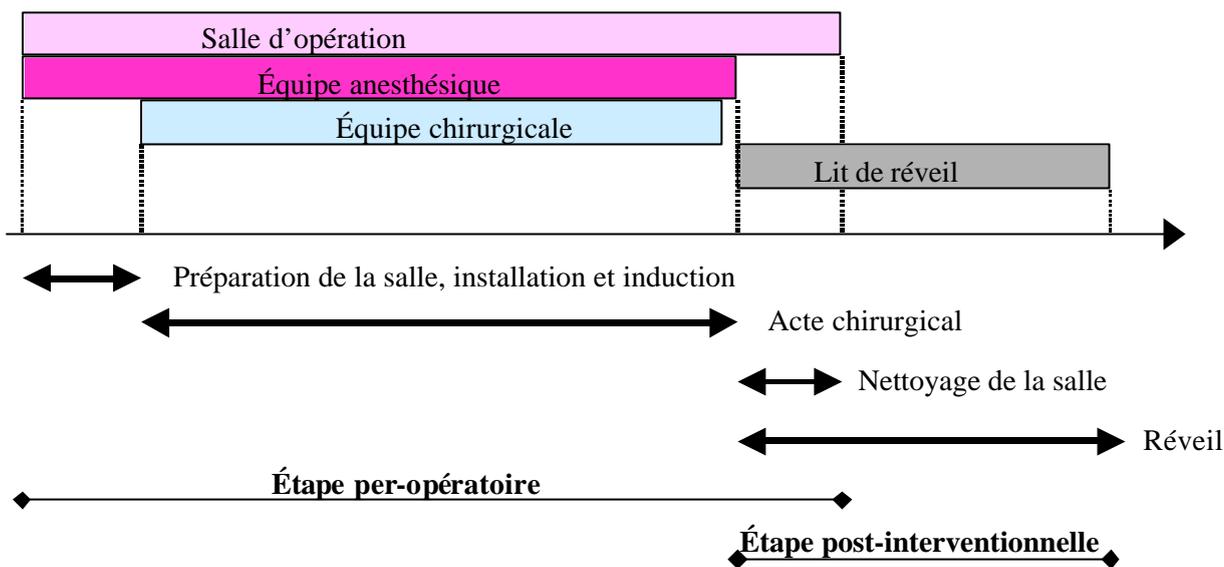


Figure 20 : Vue d'une intervention chirurgicale à partir des ressources qui y interviennent

A partir des ressources utilisées dans une intervention et des flux de patients passant par le bloc opératoire, nous proposons la décomposition de celle-ci en deux étapes :

- Une étape dite per-opératoire : c'est l'étape se déroulant dans la salle d'opération. Elle-même peut être décomposée en trois phases : une phase de préparation de la salle d'opération pour l'intervention, une phase de réalisation de l'acte chirurgical et une phase de nettoyage de la salle d'opération pour l'intervention suivante. La réalisation de l'acte chirurgical commence par l'installation du patient et son induction, puis prend lieu la chirurgie et enfin le début de réveil effectué dans la salle d'opération. La fin de réalisation de l'acte chirurgical déclenche le transfert du patient dans un lit de la (SSPI)²³.
- Une étape dite post-interventionnelle : c'est l'étape se déroulant dans la SSPI. Il s'agit de surveiller le patient jusqu'à ce qu'il recouvre son autonomie respiratoire, son équilibre circulatoire et son état de conscience normal.

Le transfert du patient à un lit en SSPI sans attente dans la salle d'opération n'est garanti qu'avec un bon dimensionnement du nombre de lits en SSPI par rapport au nombre de salles d'opération ainsi que l'immobilisation d'un nombre suffisant d'infirmières. Néanmoins, l'indisponibilité de l'une de ces deux ressources de la SSPI engendre un réveil du patient dans la salle d'opération. Dans ce travail, nous supposons que les lits représentent la ressource critique de la SSPI. Ainsi, l'indisponibilité d'un lit déclenche la procédure de réveil du patient dans la salle d'opération jusqu'à la libération d'un lit. Ainsi, l'indisponibilité d'un lit en SSPI augmente le temps improductif du bloc opératoire et donc diminue sa rentabilité économique.

²³ Ces différentes phases per-opératoires sont détaillées par Sondes Chaabane dans le rapport d'activités du projet HRP, 2000.

2.2. Temps opératoires

La qualité d'un programme opératoire est, certes, conditionnée par la méthode utilisée mais aussi par la précision des temps opératoires estimés pour chaque intervention. En effet, les temps correspondant aux différentes étapes et phases d'une intervention sont non-déterministes. Par ailleurs, l'estimation d'une durée opératoire n'est pas une tâche facile.

L'estimation de la durée de séjour du patient dans la salle d'opération a fait l'objet de quelques travaux. La durée de réalisation de l'acte chirurgical est fonction de la nature de l'acte chirurgical, du chirurgien et des résultats de diagnostic du patient [Wright *et al.*, 1996]. Zhou et Dexter [Zhou et Dexter, 1998] ont mis en évidence qu'une loi log-normale est la mieux adaptée à l'approximation des durées de réalisation d'un acte chirurgical par un chirurgien particulier. Par ailleurs, il existe des systèmes d'information permettant, par retour d'expérience, de générer une durée moyenne pour les interventions. Dexter et Macario [Dexter et Macario, 1996] annoncent qu'une estimation des durées de réalisation d'un acte chirurgical fournie par les chirurgiens est plus précise que celle fournie par un logiciel.

Cependant, peu nombreux sont les travaux de recherche où on s'est intéressé à estimer les durées de séjour en SSPI. Dexter et Tinker [Dexter et Tinker, 1995] ont analysé l'effet de quelques techniques d'anesthésie sur le temps de séjour en SSPI dans l'objectif de réduire les coûts dans le cas d'une chirurgie ambulatoire. Les auteurs, à partir d'une analyse statistique des données, observent que le temps de séjour en SSPI suit une loi log-normale.

Dans le même cadre, les travaux²⁴ qui sont menés au sein du projet de recherche HRP, devraient conduire à proposer des modèles statistiques de représentation des durées d'intervention et de temps de séjour en SSPI. En s'inspirant de ces travaux, Marcon et Kharraja [Marcon et Kharraja, 2002a] supposent que la durée de réveil est principalement fonction de la nature, de la durée de l'intervention et de l'indice ASA²⁵ du patient.

Une bonne estimation des durées per-opératoires et de la durée de réveil est sans doute primordiale pour trouver une programmation opératoire qui exploite au mieux le bloc opératoire. Dans ce travail, nous supposons disposer de toutes ces durées. Cette hypothèse nous permet la recherche d'un programme opératoire.

2.3. Approches pour la construction d'un programme opératoire

Une revue de la littérature montre que la construction du programme opératoire est une problématique récente (Cf. chapitre 2). Nous pouvons expliquer cet intérêt naissant par la volonté des tutelles, dans le monde entier, ces dernières années, de réduire les coûts de la santé et d'augmenter la rentabilité économique des établissements de soins. Par ailleurs, nous avons noté une dominance des travaux nord-américains dans ce domaine.

Une présentation détaillée de l'état de l'art sur la programmation opératoire a été réalisée au chapitre 2. Nous ne la reprendrons donc pas. Cependant, nous allons rappeler brièvement les différentes techniques et approches de programmation opératoire recensées afin de pouvoir nous positionner par rapport à la littérature.

²⁴ Des résultats statistiques sont en cours de publication sur ce thème par Combes C. et Dussauchoy A. dans le cadre du projet région HRP.

²⁵ Classification de l'American Society of Anaesthesiologists (ASA) basée sur un facteur de risque reconnu par les études épidémiologiques.

Nous avons relevé quatre techniques de programmation opératoire : une programmation ouverte, une programmation par pré-allocation de plages horaires, une programmation par pré-allocation de plages horaires avec processus d'ajustement et une programmation opératoire basée sur une allocation du bloc opératoire central aux différentes spécialités médicales.

Ici nous nous intéressons particulièrement à l'étude d'une programmation opératoire ouverte puisque nous nous situons dans le cas où chaque service médical possède sa propre infrastructure de bloc. Par ailleurs, nous admettons que le nombre d'interventions annuel par spécialité n'est pas très important (réalisant moins que 8000 interventions par an).

Nous avons également classé les différents travaux qui ont abordé le problème de construction de programme opératoire en deux catégories : (1) des travaux où la programmation opératoire est centrée sur les salles d'opération; (2) des travaux où la programmation opératoire est centrée sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI ». Toutefois, nous avons noté une prédominance des travaux qui proposent une construction du programme opératoire centrée sur les salles d'opération. Il semble ainsi important, dans la construction d'un programme opératoire, de penser à la question suivante : « Quelle approche faut-il considérer : une approche centrée sur les salles d'opération ou plutôt une approche centrée sur l'ensemble salles d'opération-SSPI ? ». La réponse à cette question dépend essentiellement de la configuration du bloc opératoire. Désormais, une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération suppose un dimensionnement adéquat du nombre de lits de la SSPI et du nombre d'infirmiers de la SSPI par rapport au nombre de salles d'opération. Toutefois, dans le cas où il est possible d'observer un dysfonctionnement au niveau des salles d'opération dû à une indisponibilité des lits de réveil (considérés ici comme ressource critique de la SSPI) à l'instant de fin de réalisation d'un acte chirurgical, il faut considérer la SSPI dans la construction du programme opératoire.

Dans [Jebali *et al.*, 2003f], nous avons proposé une approche heuristique comme aide à la construction du programme opératoire qui intègre ces deux approches et oriente vers l'utilisation de l'une d'elles selon la configuration du bloc opératoire considéré. Par ailleurs, cette heuristique permet de déterminer le dimensionnement de la SSPI autorisant une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération.

Nous proposons une construction du programme opératoire journalier en deux étapes :

- Une étape d'affectation des interventions aux salles d'opération : elle permet de fixer les interventions à réaliser dans la journée. Deux stratégies peuvent être envisagées : (1) un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée ; (2) un chirurgien peut opérer dans plusieurs salles durant une journée.
- Une étape d'ordonnancement des interventions : elle permet d'ordonner les interventions qui, à l'étape précédente, ont été affectées à une salle d'opération. L'ordonnancement peut être soit centré sur la salle d'opération soit centré sur l'ensemble salles d'opération-SSPI. Différentes stratégies d'ordonnancement peuvent être adoptées : un séquençement respectant l'affectation des interventions aux salles d'opération obtenue à l'étape précédente ; un séquençement et une ré-affectation des interventions aux salles d'opération ou un simple séquençement basé sur une règle de priorité.

Dans la suite, nous allons étudier quelques stratégies d'affectation et d'ordonnement dans l'objectif de comparer leurs performances. En effet, l'enjeu ici est de proposer aux acteurs du terrain un outil d'aide à la programmation opératoire qui ne se substituerait pas à leurs expertises mais qui plutôt leur permettrait d'argumenter et de valider leur choix pour l'une des stratégies d'affectation ou d'ordonnement.

Dans la figure 21, nous présentons les différents flux d'informations intervenant dans le processus de construction du programme opératoire. Ces informations portent essentiellement sur les patients et sur les ressources nécessaires à la réalisation d'une intervention. Désormais, la mise en place d'un système d'information est indispensable pour disposer de l'ensemble des données utilisées dans la construction du programme opératoire.

Nous prônons une construction du programme opératoire du jour t après la fermeture du bloc opératoire le jour $t-1$. Ce choix est justifié par les aspects aléatoires importants dans le bloc opératoire. Après la fermeture du bloc opératoire, nous connaissons les interventions qui ont été réalisées et éventuellement celles qui ont été reportées ou nouvellement rajoutées (par exemple admission de cas urgents).

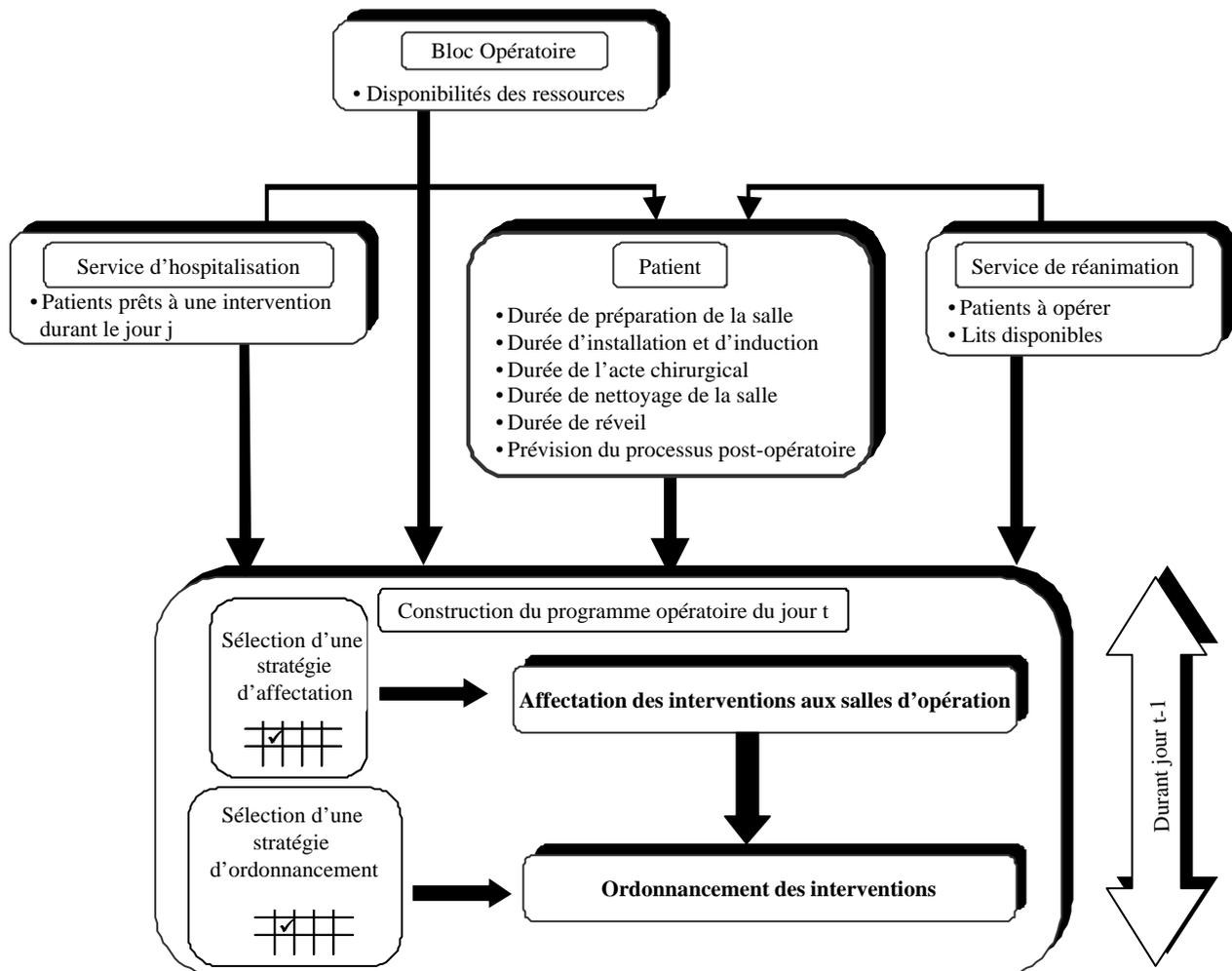


Figure 21 : Flux informationnels intervenant dans la construction du programme opératoire

3. Affectation des interventions aux salles d'opération

L'affectation des interventions aux salles d'opération permet de fixer la liste des interventions du programme opératoire journalier. L'affectation permet donc de sélectionner, parmi les patients hospitalisés et prêts à être opérés, ceux dont l'intervention fera partie du programme opératoire. L'étape d'affectation n'a pas lieu d'être s'il n'arrive pas de report ou d'annulation d'interventions du programme opératoire. Par exemple, si la liste des interventions pouvant être réalisées durant un jour est la même que celle prévu par le programme opératoire établi sur l'horizon de T jours, il est inutile de considérer cette étape.

Par rapport à la planification des interventions sur l'horizon de T jours que nous avons abordée au chapitre précédent, ici l'affectation des interventions peut faire appel aux heures supplémentaires d'ouverture du bloc opératoire afin de faire face aux aléas. En effet, nous considérons ce potentiel de flexibilité dans un objectif de maximiser la fiabilité de la date d'intervention prévu initialement pour le patient (il s'agit du jour suivant le jour d'hospitalisation du patient).

L'objectif de sélection des interventions à réaliser durant une journée est de minimiser l'utilisation du bloc opératoire en dehors des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire, la sous-utilisation du bloc opératoire ainsi que le nombre de jours passés par les patients à l'hôpital dans l'attente d'une intervention. Par la minimisation de l'attente des patients entre date d'hospitalisation et date d'intervention chirurgicale, nous cherchons, d'une part, à améliorer la satisfaction des patients et d'autre part, à aller vers une utilisation plus efficace des lits d'hospitalisation.

La fonction objectif du problème d'affectation a été traduite sous forme d'une fonction coût à minimiser. Teil [Teil, 2000] a analysé les charges du bloc opératoire. Elle a montré que les charges fixes sont énormes par rapport aux charges variables. Ainsi, une sous-utilisation du bloc opératoire induit des coûts importants. En dehors des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire, le personnel est rémunéré pour toutes les heures supplémentaires. Dexter [Dexter, 2001] estime que le coût d'une heure supplémentaire est autour de 1.75 fois le coût d'une heure régulière. Par ailleurs, un jour de plus passé par le patient à l'hôpital dans l'attente de son intervention engendre le coût d'un jour d'hospitalisation.

L'affectation des interventions doit satisfaire des contraintes de ressources : heures régulières d'ouverture du bloc opératoire, heures supplémentaires permises par la législation, disponibilité des chirurgiens dans le bloc, disponibilité des lits de réanimation, équipement de chaque salle d'opération. En ce qui concerne les lits d'hospitalisation, la programmation opératoire journalière ne les considère pas puisque qu'elle s'intéresse aux interventions pour lesquelles les patients ont déjà un lit (puisque nous supposons que les patients sont hospitalisés au moins un jour à l'avant).

Pour chaque intervention, nous supposons connaître le chirurgien p qui va la réaliser, ainsi qu'un intervalle de type $[a_p, a_p + \delta]$ représentant les durées de réalisation de l'acte chirurgical avec moyenne et écart type. Nous supposons connaître les heures de disponibilité des chirurgiens au bloc opératoire ainsi que les heures régulières et supplémentaires d'ouverture. Nous supposons que toutes les ressources nécessaires à la procédure d'anesthésie ainsi que les ressources nécessaires à la procédure chirurgicale (excepté le chirurgien) sont disponibles dans chaque salle d'opération ouverte. Toutefois, une intervention peut nécessiter un équipement particulier qui n'est pas disponible dans toutes les salles.

Nous considérons deux stratégies d'affectation des interventions aux salles d'opération. La première stratégie considère qu'un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée. La deuxième stratégie considère qu'un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée.

Nous proposons une formulation mathématique du problème d'affectation des interventions aux salles d'opération selon la première stratégie. Ce même modèle sera modifié pour représenter le problème d'affectation des interventions selon la deuxième stratégie.

3.1. Notations

Dans la modélisation du problème, nous considérons les données suivantes :

N_t : nombre de patients pouvant être opérés le jour t ,

S : nombre de salles d'opération,

L : nombre de chirurgiens,

R : nombre de lits disponibles en réanimation (pour le bloc) le jour t ,

M : une constante de grande valeur,

t : date du jour concerné par l'affectation,

Ch : coût d'un jour d'hospitalisation (en euros),

Co : coût d'une minute d'ouverture du bloc opératoire en heures supplémentaires (en euros),

Cu : coût unitaire de non utilisation du bloc pendant la durée régulière d'ouverture (en euros),

D_{tot_i} : durée de l'étape per-opératoire de l'intervention i (en minutes),

D_{h_i} : date d'hospitalisation du patient i ,

d_{int_i} : date au plus tard à opérer le patient i ,

H_p : nombre maximal d'heures de travail du chirurgien p au bloc opératoire pendant le jour t (en minutes),

C_m : durée régulière d'ouverture de la salle d'opération m (en minutes),

K_m : durée d'ouverture supplémentaire de la salle d'opération m (en minutes),

$\lambda_i = 1$ s'il est prévu pour le patient i un séjour en réanimation, $= 0$ sinon,

$\eta_{i,p} = 1$ si le chirurgien p réalise l'intervention i , $= 0$ sinon,

$\mu_{i,m} = 1$ si l'intervention i peut être réalisée dans la salle d'opération m , $= 0$ sinon.

La solution cherchée sera décrite au moyen des variables entières (0-1) suivantes :

$x_{i,m} = 1$ si l'intervention i est affectée à la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

$w_{p,m} = 1$ si le chirurgien p opère dans la salle d'opération m , $= 0$ sinon.

Afin de linéariser le modèle mathématique, nous utilisons les deux variables réelles positives y_m et z_m . Ces deux variables représentent respectivement la sur-utilisation et la sous-utilisation de la salle d'opération m en minutes.

Pour des raisons de simplification, nous avons employé l'indice i pour représenter à la fois le patient et l'intervention. En effet, nous désignons par l'intervention i , l'intervention du patient i . Désormais, l'intervention i tient compte des spécificités du patient i .

3.2. Le modèle d'affectation

$$(PL4) \text{ Min } \sum_{m=1}^S \sum_{i=1}^{N_i} x_{i,m} (t - Dh_{i-1}) \cdot Ch + \sum_{i=1}^{N_i} (1 - \sum_{m=1}^S x_{i,m}) \cdot (t - Dh_i) \cdot Ch + \sum_{m=1}^S Co \cdot y_m + \sum_{m=1}^S Cu \cdot z_m \quad (46)$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^{N_i} x_{i,m} \cdot Dtot_i - C_m \leq K_m, \forall m \in [1..S] \quad (47)$$

$$\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{m=1}^S x_{i,m} \cdot Dtot_i \cdot h_{i,p} \leq H_p, \forall p \in [1..L] \quad (48)$$

$$x_{i,m} \leq m_{i,m}, \forall m \in [1..S], \forall i \in [1..N_i] \quad (49)$$

$$\sum_{i=1}^{N_i} I_i \cdot \sum_{m=1}^S x_{i,m} \leq R \quad (50)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} = 1, \forall i \in [1..N_i] / d_{int} i = t \quad (51)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} \leq 1, \forall i \in [1..N_i] / d_{int} i > t \quad (52)$$

$$\sum_{m=1}^S w_{p,m} \leq 1, \forall p \in [1..L] \quad (53)$$

$$w_{p,m} \geq 1 - M(2 - x_{i,m} - h_{i,p}), \forall p \in [1..L], \forall m \in [1..S], \forall i \in [1..N_i] \quad (54)$$

$$y_m \geq \sum_{i=1}^{N_i} x_{i,m} \cdot Dtot_i - C_m, \forall m \in [1..S] \quad (55)$$

$$y_m \geq 0, \forall m \in [1..S] \quad (56)$$

$$z_m \geq C_m - \sum_{i=1}^{N_i} x_{i,m} \cdot Dtot_i, \forall m \in [1..S] \quad (57)$$

$$z_m \geq 0, \forall m \in [1..S] \quad (58)$$

$$x_{i,m}, w_{p,m} \in \{0, 1\}, \forall i \in [1..N_i], \forall m \in [1..S] \quad (59)$$

La fonction objectif (46) permet de minimiser le coût des jours passés par les patients à l'hôpital en attente de l'intervention chirurgicale, le coût de sur-utilisation des salles d'opération en les occupant pendant les heures supplémentaires ainsi que le coût de sous-utilisation des salles d'opération pendant les heures régulières d'ouverture du bloc.

Les familles de contraintes (47) et (48) représentent des contraintes de ressources à capacité finie. Les contraintes (47) permettent de respecter le temps d'ouverture des salles d'opération. Une salle d'opération ne peut pas être ouverte au-delà des heures régulières et des heures supplémentaires permises par la législation. Les contraintes (48) assurent que chaque chirurgien réalise les interventions selon sa disponibilité au bloc opératoire. Une intervention ne peut avoir lieu que dans une salle d'opération où tous les équipements nécessaires sont disponibles (49). Le nombre de patients à opérer, pour lesquels il est prévu un séjour en réanimation, doit respecter la disponibilité des lits (50). Les familles de contraintes (51) et (52) assurent qu'une intervention est affectée, au plus, une fois. La famille de contraintes (51) permet aussi de respecter la date limite d'intervention. Les contraintes (53) assurent qu'un chirurgien opère dans une même salle d'opération durant une journée. Si une intervention est affectée à une salle d'opération, les contraintes (54) garantissent que le chirurgien qui doit la réaliser opère dans cette même salle d'opération durant la journée.

L'association des deux familles de contraintes (55) et (56) avec la fonction objectif, essayant de minimiser une sur-utilisation des salles d'opération, attribue à la variable intermédiaire y_m la valeur du temps d'ouverture de la salle d'opération m en dehors des heures régulières :

$$y_m = \text{Max}(0, \sum_{i=1}^{N_i} x_{i,m} \cdot D_{toti} - C_m)$$

L'association des deux familles de contraintes (57) et (58) avec la fonction objectif, essayant de minimiser une sous-utilisation des salles d'opération, attribue à la variable intermédiaire z_m la valeur du temps où la salle d'opération m n'a pas été utilisée durant les heures régulières d'ouverture du

$$\text{bloc} : z_m = \text{Max}(0, C_m - \sum_{i=1}^{N_i} x_{i,m} D_{toti})$$

Les contraintes (59) sont des contraintes d'intégrité.

Le modèle d'affectation ainsi obtenu est un programme linéaire à variables mixtes. Dans le modèle, un chirurgien opère dans une même salle d'opération pendant une journée (stratégie 1). Le même modèle est modifié pour représenter la deuxième stratégie d'affectation où un chirurgien peut opérer dans différentes salles d'opération durant une journée. Il s'agit juste d'éliminer les variables binaires $w_{p,m}$ dénotant l'affectation d'un chirurgien p à une salle d'opération m , ainsi que les contraintes (53) et (54).

L'affectation des interventions aux salles d'opération ne précise pas l'ordre d'exécution des interventions. Nous proposons, par la suite, quelques stratégies d'ordonnancement.

Pour la première stratégie d'affectation, il suffit d'ordonner les interventions dans chaque salle d'opération suivant une règle de priorité concertée par les acteurs du bloc. En effet, ici l'ordre d'exécution des interventions n'a pas d'effet sur l'instant de fermeture de la salle d'opération. Toutefois, l'application d'une règle de priorité pour le séquençement des interventions dans chaque salle d'opération dans le cas de la deuxième stratégie n'est pas aussi évidente vu qu'il est nécessaire de tenir compte dans ce cas de la disponibilité d'un chirurgien au moment où il est appelé à commencer une intervention. Cette disponibilité dépend de l'ordonnancement des interventions dans les autres salles d'opération.

Par ailleurs, nous soulignons ici l'avantages que présente la première stratégie d'affectation par rapport à la deuxième de point de vue flexibilité de l'ordonnancement. Aussi, elle est très simple à mettre en œuvre.

Dans le cas d'un bloc opératoire où l'on a choisi d'utiliser cette stratégie d'affectation, nous proposons d'adopter la même stratégie au niveau de la planification des interventions sur l'horizon de T jours que nous avons présentée au chapitre précédent. Il suffit de rajouter :

- les variables binaires $w_{p,m,t}$:
- $w_{p,m,t} = 1$ si le chirurgien p est affecté à la salle d'opération m durant le jour t .
- les contraintes suivantes :

$$\sum_{m=1}^S w_{p,m,t} \leq 1, \forall p \in [1..L], \forall t \in [1..T]$$

$$w_{p,m,t} \geq 1 - M(2 - x_{i,m,t} - h_{i,p}), \forall p \in [1..L], \forall m \in [1..S], \forall i \in NC \cup NG, \forall t \in [1..T]$$

3.3. Expérimentation

Afin de valider le modèle d'affectation, nous l'avons expérimenté sur 25 exemples de problèmes pseudo-réels. Ces problèmes peuvent être partagés en cinq sous-groupes en fonction de leur taille.

Chaque sous-groupe est composé de cinq exemples de problèmes caractérisés par un même nombre d'interventions pouvant être programmées un jour de date 15 (N_1 : 11, 12, 13, 14, 15). Les exemples considérés dans un même sous-groupe possèdent des temps opératoires différents.

Dans toutes nos expérimentations, nous considérons le cas d'un bloc opératoire composé de 3 salles d'opération. La durée d'ouverture de chaque salle d'opération, en heures régulières, est de 480 minutes et, en heures supplémentaires, est limitée à 240 minutes. Quatre chirurgiens opèrent dans le bloc. La SSPI comporte 4 lits de réveil. Les temps de travail maximaux (il y a des chirurgiens qui acceptent de travailler des heures supplémentaires, contrairement à d'autres) en minutes des chirurgiens (indexés par p) pendant le jour t (H_p) sont respectivement (720, 720, 480, 480).

Le coût d'un jour d'hospitalisation est de 366.41 € [Guinet et Chaabane, 2003b]. Le coût d'une minute de bloc opératoire, en heures régulières, est de 3.97 € [Teil, 2000]. Le coût d'une minute de bloc opératoire, en heures supplémentaires, est de 7.06 €

3.3.1. Données

La durée de l'étape per-opératoire d'une intervention est une durée composite. C'est la somme de la durée de préparation de la salle, de la durée de réalisation de l'acte chirurgical et de la durée de nettoyage de la salle.

Les durées de réalisation de l'acte chirurgical sont générées aléatoirement suivant une distribution log-normale de moyenne 180 minutes et d'écart type 60 minutes. Un acte chirurgical dure entre 30 minutes et 420 minutes. Ces données correspondent au secteur de chirurgie générale [Kharraja *et al.*, 2002].

La durée de préparation de la salle d'opération est de :

- 10 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est inférieure à 90 minutes,
- 20 minutes pour les autres.

La durée de nettoyage de la salle d'opération est de :

- 15 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est inférieure à 120 minutes,
- 30 minutes pour les autres.

Toutes les données précédentes ont été extraites de [Kharraja *et al.*, 2002].

Nous attribuons à la constante M la valeur 720 qui correspond ici au temps maximal d'ouverture de toutes les salles d'opération.

Le reste des données (D_{h_i} , d_{int_i} , λ_i , $\eta_{i,l}$, R , $\mu_{i,m}$) a été tiré aléatoirement pour un sous-groupe d'exemples de 15 interventions. Pour les autres sous-groupes d'exemples, nous avons toujours utilisé les N_1 premières données. Par exemple, pour tous les exemples de 11 interventions, nous avons considéré les onze premières données.

3.3.2. Résultats

Dans le tableau 8, nous présentons les résultats d'affectation des interventions aux salles d'opération obtenus pour les stratégies 1 et 2. Pour chaque problème traité, référé par un numéro (N°), nous donnons :

- le nombre d'interventions considérées (N_1),
- la valeur de la fonction objectif en euros obtenue dans le cas de la stratégie 1 ($Z(IAS_1)$),

- le temps de calcul en secondes de la solution d'affectation des interventions aux salles d'opération dans le cas de la stratégie 1 ($\text{CPU}(\text{IAS}_1)$),
- le nombre d'interventions qui ont été affectées à une salle d'opération dans le cas de la stratégie 1 (N_2S_1),
- le temps global en minutes d'utilisation du bloc opératoire dans le cas de la stratégie 1 (DSS_1),
- la durée d'utilisation des salles d'opération, en minutes, en dehors de la durée régulière d'ouverture dans le cas de la stratégie 1 (OTS_1),
- la valeur de la fonction objectif en euros obtenu dans le cas de la stratégie 2 ($\text{Z}(\text{IAS}_2)$),
- le temps de calcul en secondes de la solution d'affectation des interventions aux salles d'opération dans le cas de la stratégie 2 ($\text{CPU}(\text{IAS}_2)$),
- le nombre d'interventions qui ont été affectées à une salle d'opération dans le cas de la stratégie 2 (N_2S_2),
- le temps global en minutes d'utilisation du bloc opératoire dans le cas de la stratégie 2 (DSS_2),
- la durée d'utilisation des salles d'opération, en minutes, en dehors de la durée régulière d'ouverture dans le cas de la stratégie 2 (OTS_2).

Pour la résolution du programme linéaire mixte, nous avons utilisé un logiciel commercial de résolution de programmes linéaires (ILOG OPL Studio 3.0) utilisant la version 7.0 de CPLEX.

Les différentes expérimentations ont été réalisées sur un PC Pentium III-930Mhz.

N°	N ₁	Stratégie 1					Stratégie 2				
		Z(IAS ₁)	CPU(IAS ₁)	N ₂ S ₁	DSS ₁	OTS ₁	Z(IAS ₂)	CPU(IAS ₂)	N ₂ S ₂	DSS ₂	OTS ₂
1	11	3775.27	1.22	8	1412	0	3775.27	1.10	8	1412	0
2	11	3504.73	1.20	9	1446	21	3074.20	1.51	10	1404	0
3	11	3390.23	1.18	10	1449	45	3082.44	1.35	10	1449	17
4	11	4647.33	1.15	8	1472	101	3844.27	1.35	8	1414	7
5	11	3650.38	1.13	9	1473	44	3281.53	1.35	10	1457	38
6	12	5275.11	1.22	9	1420	6	5275.11	1.42	9	1420	6
7	12	4841.53	1.24	12	1352	42	4379.85	1.11	12	1352	0
8	12	7427.79	1.27	7	1486	159	6185.65	1.36	7	1486	46
9	12	5394.50	1.28	10	1353	26	4586.56	1.41	11	1467	27
10	12	5719.39	7.34	9	1477	67	5353.89	1.21	9	1414	11
11	13	6496.18	4.01	9	1297	6	5918.47	1.87	9	1437	4
12	13	6320.61	1.32	10	1404	62	5579.24	1.67	10	1444	9
13	13	6111.45	1.47	10	1285	0	5375.57	1.42	11	1475	35
14	13	6932.82	1.26	9	1511	123	6276.95	1.55	8	1439	4
15	13	5946.87	1.41	10	1440	41	5316.34	1.81	11	1393	0
16	14	6762.75	1.38	8	1456	21	6024.12	1.31	10	1463	23
17	14	6876.64	1.39	8	1455	31	6285.19	1.23	9	1448	8
18	14	6887.94	1.30	8	1466	36	6316.34	1.26	9	1418	0
19	14	6521.53	1.32	10	1418	52	6037.86	1.28	10	1418	8
20	14	5910.23	1.46	10	1428	0	5128.55	4.12	13	1492	52
21	15	6865.34	1.42	9	1372	0	6611.30	2.51	9	1436	0
22	15	7341.37	11.38	8	1397	19	6874.81	2.10	9	1461	33
23	15	7007.94	5.02	9	1433	35	6615.27	2.14	10	1495	55
24	15	7392.67	7.90	8	1373	15	6566.11	2.13	10	1488	48
25	15	6249.47	3.24	11	1481	50	5930.69	3.73	11	1445	8

Tableau 8 : Résultats d'affectations des interventions aux salles d'opération

Afin de comparer ces deux stratégies d'affectation, nous considérons les critères de performance suivants :

- le nombre moyen d'interventions réalisées par jour (NMI),
- le coût moyen, en euros, engendré par l'affectation des interventions proposée (CMAI),
- le taux moyen d'occupation de l'ensemble des salles d'opération (TMO),
- la durée moyenne d'utilisation des salles d'opération, en minutes, en dehors de la durée régulière d'ouverture (OTM).

Pour le calcul du taux moyen d'occupation de l'ensemble des salles d'opération, nous avons utilisé

la formule suivante :
$$TMO = \frac{1}{25} \sum_{k=1}^{25} \frac{DS(PbN^{\circ}k)}{\sum_{m=1}^S C_m} \times 100$$

DS(PbN°k) désigne le temps global, en minutes, d'utilisation du bloc opératoire donné par l'affectation des interventions proposée pour le problème numéro k.

Dans le tableau 9, nous donnons les critères de performances (présentés ci-dessus) obtenus respectivement dans le cas des stratégies d'affectation 1 et 2.

	NMI	CMAI	TMO	OTM
Stratégie 1	9.12	5 889.92	98	40.08
Stratégie 2	9.72	5 347.79	100	17.56

Tableau 9 : Quelques critères de performance pour comparer les deux stratégies d'affectation

En se basant sur les résultats donnés dans le tableau 9, il est clair que la stratégie 2 est plus performante que la stratégie 1. Le nombre moyen d'interventions réalisées par jour et le taux moyen d'occupation de l'ensemble des salles d'opération sont moins importants dans le cas de la stratégie 1. Toutefois, le coût moyen engendré par l'affectation des interventions ainsi que la durée moyenne d'utilisation des salles d'opération, en minutes, en dehors de la durée régulière d'ouverture sont moins importants dans le cas de la stratégie 2. Par exemple, les coûts d'affectation augmentent de 10% dans le cas où chaque chirurgien opère dans la même salle d'opération durant la journée (stratégie 1).

Le taux d'occupation moyen de l'ensemble des salles d'opération que nous avons déterminé pour les stratégies 1 et 2 inclut les temps de préparation et de nettoyage. Toutefois, il existe différentes définitions de ce taux d'occupation. Dans une étude de benchmarking²⁶, le taux d'occupation d'une salle d'opération a été défini comme le rapport entre le temps où il y a un patient dans la salle et le temps total de disponibilité en heures régulières. Les temps de préparation et de nettoyage ne sont pas ainsi considérés comme un temps d'occupation de la salle. Si nous adoptons cette dernière définition, le taux d'occupation moyen du bloc est de 76% aussi bien dans le cas de la stratégie 1 que dans le cas de la stratégie 2. Les temps de préparation et de nettoyage de la salle représentent ainsi 22% du temps d'occupation de la salle dans le cas de la stratégie 1 contre 24% dans le cas de la stratégie 2. Une réduction de ces temps peut faire augmenter le nombre d'interventions réalisées par jour. Dexter (dans *January OR Manager*) souligne qu'une amélioration de ces temps sans recruter du personnel ou acheter de nouveaux équipements est avantageuse puisqu'elle favorise la satisfaction des chirurgiens [Mathias, 2000].

²⁶ Apparue dans *OR Manager, The monthly publication for OR decision makers*, Vol 16, N°8.

Un taux d'occupation entre 80 et 85% est fréquemment cité comme le taux d'occupation objectif, au-delà duquel il faut penser à augmenter le nombre de salles d'opération. Toutefois, la définition qui a été adoptée pour déterminer ce taux n'est jamais précisée. Si ce taux d'occupation objectif a été déterminé à partir de la première définition que nous avons utilisée alors ce taux suppose qu'il faut réserver de la place pour les cas urgents et d'éventuels dépassements des temps opératoires.

D'un autre côté, il ne faut pas ignorer que ce taux d'occupation dépend du nombre d'interventions considérés ainsi que des temps opératoires.

4. Ordonnancement des interventions

L'objectif de l'ordonnancement des interventions est d'aller vers une meilleure utilisation des ressources critiques du bloc opératoire et ce, en minimisant le dépassement des heures régulières d'ouverture des salles d'opération.

Au-delà des contraintes de ressources, l'ordonnancement tient compte des priorités pouvant exister entre les interventions. Toutefois, la prise en compte d'une priorité peut être inévitable si son ignorance peut exposer le patient à certains risques ; au contraire, elle peut être optionnelle si son ignorance n'a aucun risque sur le patient. Dans ce dernier cas, la priorité permet juste de mettre en avant le souhait des chirurgiens ou des patients ; l'intégration des contraintes de priorité reste un choix concerté des responsables du bloc, quoiqu'il peut s'opposer à une meilleure utilisation des ressources. Nous pouvons citer comme priorité inévitable, le facteur de contamination dans le cas des salles d'opération septiques. Un ordonnancement des interventions par ordre croissant du facteur de contamination pour des raisons d'hygiène et de sécurité est nécessaire (les interventions les plus infectieuses sont réalisées en dernier lieu). [Guinet et Chaabane, 2002] estiment que cette priorité revient à un ordonnancement par ordre croissant de la valeur ASA. Une autre priorité inévitable peut être basée sur le degré d'urgence des interventions ; ainsi les interventions les plus urgentes doivent être réalisées les premières.

La priorité peut concerner les interventions à réaliser dans une même salle d'opération, les interventions à réaliser par un même chirurgien ou aussi toutes les interventions indépendamment de la ressource. En effet, les chirurgiens peuvent exprimer une priorité quant à l'ordre de réalisation des interventions. Par exemple, beaucoup de chirurgiens préfèrent opérer les interventions les plus graves en premier. [Guinet et Chaabane, 2002] annoncent que cette règle de priorité revient à l'utilisation de la règle LPT²⁷. Les patients peuvent également exprimer une préférence à être opérés en début de journée ou au contraire, en fin de journée.

L'ordonnancement des interventions, en fonction de la configuration du bloc opératoire, peut être soit centré sur les salles d'opération, soit centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI ». Un ordonnancement centré sur les salles d'opération suppose un dimensionnement adéquat du nombre de lits de la SSPI et du nombre d'infirmiers de la SSPI par rapport au nombre de salles d'opération. Toutefois, dans le cas où il est possible d'observer un dysfonctionnement au niveau des salles d'opération dû à une indisponibilité de lits de réveil (considérés ici comme ressource critique de la SSPI) à l'instant de fin de réalisation d'un acte chirurgical, il faut considérer la SSPI dans l'ordonnancement.

Nous proposons ici, dans un premier temps, d'explorer ces deux approches d'ordonnancement. Ensuite, nous présentons une approche pour dimensionner le nombre de lits de la SSPI autorisant une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération.

²⁷ *Longest Processing Time.*

4.1. Ordonnancement des interventions centré sur les salles d'opération

Dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée (la première stratégie d'affectation), nous proposons un ordonnancement des interventions dans les salles d'opération suivant une règle de priorité concertée par les acteurs du bloc. En effet, ici l'ordre d'exécution des interventions n'a pas d'effet sur l'instant de fermeture de la salle d'opération.

Dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée (la deuxième stratégie d'affectation), nous proposons de reconsidérer partiellement l'affectation des interventions aux salles d'opération obtenue par le modèle (PL4). Les interventions qui ont été affectées à une salle d'opération dans ce modèle seront de nouveau affectées. L'étape d'affectation permettra, dans ce cas, uniquement de fixer les interventions à réaliser. Ce choix permet de réduire les contraintes du problème d'ordonnancement ainsi considéré.

Ce problème d'ordonnancement centré sur les salles d'opération s'identifie à un problème d'ordonnancement sur « machines parallèles ». Lorsqu'il s'agit de minimiser le « makespan²⁸ », Lenstra et Rinnooy Kan [Lenstra et Rinnooy Kan, 1980] ont montré que ce problème est NP-complet pour un nombre fixé de machines [Cheng et Sin, 1990].

Dans ce qui suit, nous proposons une modélisation mathématique de ce problème en tant que programme linéaire mixte.

4.1.1. Notations

Nous faisons appel, dans la description du modèle d'ordonnancement centré sur les salles d'opération, aux données suivantes :

N_2 : nombre d'interventions à ordonnancer,

S : nombre de salles d'opération,

L : nombre de chirurgiens,

M : constante de grande valeur,

Op : instant d'ouverture du bloc opératoire,

p_i^1 : durée de réalisation de l'acte chirurgical de l'intervention i (en minutes),

pre_i^1 : durée de préparation de la salle d'opération et du patient (elle comprend la durée d'installation du patient dans la salle ainsi que la durée d'induction) pour l'intervention i (en minutes),

n_i^1 : durée de nettoyage de la salle pour l'intervention i (en minutes),

d_i^1 : durée d'occupation de la salle d'opération pour l'intervention ($d_i^1 = p_i^1 + pre_i^1 + n_i^1 = Dt_{ot_i}$),

C_m : durée régulière d'ouverture de la salle d'opération m (en minutes),

K_m : durée d'ouverture supplémentaire de la salle d'opération m (en minutes),

$\eta_{i,p} = 1$ si le chirurgien p réalise l'intervention i , $= 0$ sinon,

$\mu_{i,m} = 1$ si l'intervention i peut être réalisée dans la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

$[A_p, B_p]$: intervalle de temps durant lequel le chirurgien p peut opérer pendant le jour considéré (avec $B_p - A_p = H_p$),

$\omega_{i,j,1} = 1$ si l'intervention i est prioritaire (selon la règle de priorité) sur l'intervention j si celles-ci sont réalisées dans une même salle d'opération, $= 0$ sinon,

²⁸ Instant d'achèvement des travaux.

$\omega_{i,j,2} = 1$ si l'intervention i est prioritaire (selon la règle de priorité) sur l'intervention j si celles-ci sont réalisées par le même chirurgien, $= 0$ sinon,

$\omega_{i,j,3} = 1$ si l'intervention i est prioritaire (selon la règle de priorité) sur l'intervention j selon les préférences des patients, $= 0$ sinon.

Une seule règle de priorité est à respecter dans l'ordonnancement des salles d'opération. Ainsi les paramètres exprimant la règle de priorité doivent vérifier : s'il existe $(i,j) \in [1..N_2] / \omega_{i,j,v} = 1$ alors $\omega_{i,j,x} = \omega_{i,j,w} = 0$ pour $i, j \in [1..N_2]$ et pour $w, x \in \{1, 2, 3\} / \{v\}$.

La solution cherchée sera décrite au moyen des :

- variables entières (0-1) suivantes :

$x_{i,m} = 1$ si nous affectons l'intervention du patient i à la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

$q_{i,j} = 1$ si l'intervention i commence avant l'intervention j au bloc opératoire, $= 0$ sinon.

- variables réelles positives suivantes :

t_i^1 : instant de début de l'intervention i au bloc opératoire (début de préparation d'une salle pour l'intervention i),

H_m : variable indiquant l'heure de fermeture de la salle d'opération m dans le cas de dépassement des heures régulières,

Y_m : variable indiquant le dépassement des heures régulières dans la salle d'opération m .

4.1.2. Formulation mathématique

$$(PL5) \text{ Min } Y = \sum_{m=1}^M Y_m \quad (60)$$

sous les contraintes :

$$t_j^1 + pre_j^1 \geq (t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1) - M(3 - q_{i,j} - h_{i,p} - h_{j,p}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall p \in [1..L] \quad (61)$$

$$t_j^1 + pre_j^1 \geq (t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1) - M(3 - w_{i,j,2} - h_{i,p} - h_{j,p}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall p \in [1..L] \quad (61p)$$

$$t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1 - M(1 - h_{i,p}) \leq B_p, \forall i \in [1..N_2], \forall p \in [1..L] \quad (62)$$

$$t_i^1 + pre_i^1 \geq h_{i,p} A_p, \forall i \in [1..N_2], \forall p \in [1..L] \quad (63)$$

$$t_j^1 \geq (t_i^1 + d_i^1) - M(3 - q_{i,j} - x_{i,m} - x_{j,m}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall m \in [1..S] \quad (64)$$

$$t_j^1 \geq (t_i^1 + d_i^1) - M(3 - w_{i,j,1} - x_{i,m} - x_{j,m}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall m \in [1..S] \quad (64p)$$

$$x_{i,m} \leq m_{i,m}, \forall i \in [1..N_2], \forall m \in [1..S] \quad (65)$$

$$q_{i,j} + q_{j,i} = 1, \forall i, j \in [1..N_2] / i > j \quad (66)$$

$$t_j^1 \geq t_i^1 - M(1 - q_{i,j}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j \quad (67)$$

$$t_j^1 \geq t_i^1 - M(1 - w_{i,j,3}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j \quad (67p)$$

$$H_m \geq t_i^1 + d_i^1 - M(1 - x_{i,m}), \forall i \in [1..N_2], \forall m \in [1..S] \quad (68)$$

$$Y_m \geq H_m - (C_m + Op), \forall m \in [1..S] \quad (69)$$

$$Y_m \geq 0, \forall m \in [1..S] \quad (70)$$

$$Y_m \leq K_m, \forall m \in [1..S] \quad (71)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} = 1, \forall i \in [1..N_2] \quad (72)$$

$$x_{i,m}, q_{i,j} \in \{0, 1\}, \forall m \in [1..S], \forall i, j \in [1..N_2] \quad (73)$$

$$t_i^1 \geq Op, \forall i \in [1..N_2] \tag{74}$$

La fonction objectif (60) permet de minimiser le dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire. Les contraintes (61) assurent qu'un chirurgien ne peut pas opérer plus d'un patient en même temps. Les contraintes (62) et (63) permettent de respecter les intervalles de temps où les chirurgiens sont disponibles au bloc opératoire. Les contraintes (64) assurent qu'une salle d'opération ne peut pas être occupée pour plus d'une intervention. Les contraintes (65) permettent de réaliser l'intervention dans la salle d'opération où les équipements nécessaires sont disponibles. Les contraintes (66), (72) et (73) sont des contraintes d'intégrité. Les contraintes (72) assurent qu'une intervention est affectée à une seule salle d'opération. Les contraintes (67) imposent que l'instant de début d'une intervention soit supérieur à l'instant de début de toute intervention qui la précède.

L'association des contraintes (68), (69) et (70) avec la fonction objectif permet à la variable H_m de prendre la valeur de l'instant de fermeture de la salle d'opération m dans le cas de dépassement des heures régulières, et à la variable Y_m de prendre la valeur du temps supplémentaire d'ouverture de la salle m :

$$H_m = \text{Max}_{i \in [1..N_2]/x_{i,m}=1} (t_i^1 + d_i^1) \text{ si } \text{Max}_{i \in [1..N_2]/x_{i,m}=1} (t_i^1 + d_i^1) \geq C_m + Op$$

$$Y_m = \text{Max}(0, (H_m - (C_m + Op)))$$

Les contraintes (71) interdisent de dépasser les heures supplémentaires d'ouverture du bloc opératoire permises par la législation. Les contraintes (74) assurent que toutes les interventions commencent après l'ouverture du bloc opératoire.

Les contraintes (61p), (64p) et (67p) permettent de respecter l'ordre de priorité des interventions. La famille de contraintes (61p) assure d'établir un ordonnancement selon une règle de priorité à respecter dans chaque salle d'opération. La famille de contraintes (64p) assure d'établir un ordonnancement qui respecte la priorité fixée par chaque chirurgien aux interventions qu'il va réaliser. Les contraintes (67p) permettent un ordonnancement qui respecte une règle de priorité traduisant un souhait du patient (par exemple, un patient souhaitant être opéré en début de journée ou au contraire en fin de journée). L'ordonnancement respecte une seule règle de priorité ainsi l'une de ces familles de contraintes est retenue dans le modèle, le reste des contraintes sont omises. Dans le cas où il n'existe pas d'interventions ayant la même priorité, l'une des familles de contraintes (61), (64) ou (67) devient superflue. Ainsi, il est possible de l'éliminer tout en maintenant la famille de contraintes de priorité correspondante. Par ailleurs, si les interventions à ordonnancer sont de même priorité, les contraintes (61p), (64p) et (67p) ne sont plus nécessaires.

4.2. Ordonnancement des interventions centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI »

L'ordonnancement des interventions centré sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI » s'identifie à un problème de flow-shop hybride à deux étages. Le premier étage est représenté par m salles d'opération. Le deuxième étage est représenté par m lits de réveil. Une contrainte de type « sans stock intermédiaire » entre les deux étages est à considérer. En effet, si à la fin de la réalisation d'une intervention chirurgicale, aucun lit en SSPI n'est disponible, la salle d'opération reste bloquée jusqu'à la libération d'un lit avec la particularité suivante : le temps de réveil du patient est partagé entre la salle de réveil et la salle d'opération. A notre connaissance ce problème n'est pas résolu.

Le problème du flow-shop avec blocage est polynomial ($O(n \log n)$) avec l'algorithme de Gilmore et Gomory [Gilmore et Gomory, 1964] si nous avons $m_1=m_2=1$. Si $m_1>1$ ou $m_2>1$ ce problème devient NP-complet au sens fort [Hall et Sriskandarajah, 1996] [Sriskandarajah et Ladet, 1986].

Dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée (la première stratégie d'affectation), nous proposons un ordonnancement des interventions en deux étapes :

- une étape d'ordonnancement des interventions au niveau des salles d'opération,
- une étape d'affectation des interventions aux lits de réveil.

L'ordonnancement des interventions au niveau des salles d'opération revient ainsi à un ordonnancement des interventions centré sur les salles d'opération suivant une règle de priorité concertée par les acteurs du bloc.

Par ailleurs, nous proposons une affectation des interventions au niveau des lits de la SSPI par ordre croissant des instants de fin d'exécution de l'acte chirurgical dans les salles d'opération ($t_i^1+d_i^1-n_i^1$) :

- Si à l'instant de fin d'exécution d'une intervention, il y a au moins un lit disponible dans la SSPI Alors :
 - Affecter cette intervention à l'un des lits disponibles
- Sinon :
 - Affecter cette intervention au lit de la SSPI libre le premier (celui ayant le plus faible temps d'indisponibilité résiduelle ind)
 - Effectuer un simple décalage des instants de début des interventions dans les salles d'opération égal à la durée de blocage de la salle d'opération
- Mettre à jour la disponibilité résiduelle du lit de la SSPI auquel a été affectée l'intervention.

Dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée (la deuxième stratégie d'affectation), les travaux proposés jusqu'ici pour l'ordonnancement des interventions prônent l'utilisation d'une approche heuristique [Kharraja *et al.*, 2002] [Guinet et Chaabane, 2003b]. Ici, nous proposons d'explorer une formulation directe de ce problème d'ordonnancement, défini comme flow-shop hybride à deux étages avec contraintes de blocages, sous la forme d'un programme linéaire mixte.

Deux stratégies d'ordonnancement peuvent être adoptées :

1. un séquençement des interventions affectées à une même salle d'opération par le modèle d'affectation,
2. un ordonnancement des interventions en reconsidérant partiellement l'affectation des interventions aux salles d'opération obtenue par le modèle 3.2. Les interventions qui ont été affectées à une salle d'opération dans ce modèle seront ainsi de nouveau affectées. L'étape d'affectation permettra, dans ce cas, uniquement de fixer les interventions à réaliser.

Nous présentons ici un modèle où l'affectation des interventions aux salles d'opération est reconsidérée (stratégie d'ordonnancement 2). Le même modèle est modifié pour représenter la première stratégie d'ordonnancement. Dans ce cas, les variables indiquant l'affectation d'une intervention à une salle d'opération ($x_{i,m}$) deviennent des données du problème puisqu'elles sont connues à partir de l'étape d'affectation.

4.2.1. Notations

Nous faisons appel, dans la description du modèle d'ordonnancement, aux données suivantes :

N_2 : nombre d'interventions à ordonnancer,

S : nombre de salles d'opération,

L : nombre de chirurgiens,

L_r : nombre de lits de réveil,

Op : instant d'ouverture du bloc opératoire,

M : constante de grande valeur,

p_i^1 : durée de réalisation de l'acte chirurgical de l'intervention i (en minutes),

pre_i^1 : durée de préparation de la salle d'opération et du patient (elle comprend la durée d'installation du patient dans la salle ainsi que la durée d'induction) pour l'intervention i (en minutes),

n_i^1 : durée de nettoyage de la salle pour l'intervention i (en minutes),

d_i^1 : durée d'occupation de la salle d'opération pour l'intervention ($d_i^1 = p_i^1 + pre_i^1 + n_i^1 = Dtot_i$),

p_i^2 : durée de réveil du patient i (en minutes),

$\eta_{i,p} = 1$ si le chirurgien p réalise l'intervention i , $= 0$ sinon,

$\mu_{i,m} = 1$ si l'intervention i peut être réalisée dans la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

C_m : durée régulière d'ouverture de la salle d'opération m (en minutes),

K_m : durée d'ouverture supplémentaire de la salle d'opération m (en minutes),

$[A_p, B_p]$: intervalle de temps durant lequel le chirurgien p peut opérer pendant le jour t (avec $B_p - A_p = H_p$),

$\omega_{i,j,1} = 1$ si l'intervention i est prioritaire (selon la règle de priorité) sur l'intervention j si celles-ci sont réalisées dans une même salle d'opération, $= 0$ sinon,

$\omega_{i,j,2} = 1$ si l'intervention i est prioritaire (selon la règle de priorité) sur l'intervention j si celles-ci sont réalisées par le même chirurgien, $= 0$ sinon,

$\omega_{i,j,3} = 1$ si l'intervention i est prioritaire (selon la règle de priorité) sur l'intervention j selon les préférences des patients, $= 0$ sinon.

Une seule règle de priorité est à respecter dans l'ordonnancement des salles d'opération. Ainsi les paramètres exprimant la règle de priorité doivent vérifier :

S'il existe $(i,j) \in [1..N_2] / \omega_{i,j,v} = 1$ alors $\omega_{i,j,x} = \omega_{i,j,w} = 0$ pour $i, j \in [1..N_2]$, pour $w, x \in \{1, 2, 3\} \setminus \{v\}$.

La solution cherchée sera décrite au moyen des :

- variables entières (0-1) suivantes :

$x_{i,m} = 1$ si nous affectons le patient i à la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

$f_{k,i} = 1$ si nous affectons le patient i au lit de réveil k , $= 0$ sinon,

$q_{i,j} = 1$ si l'intervention i commence avant l'intervention j au niveau des salles d'opération (premier étage), $= 0$ sinon,

$p_{i,j} = 1$ si l'intervention i commence avant l'intervention j en SSPI (deuxième étage), $= 0$ sinon.

- variables réelles positives suivantes :

t_i^1 : instant de début de l'intervention i au bloc opératoire (début de préparation d'une salle pour l'intervention i),

t_i^2 : instant de début de l'intervention i en SSPI (instant de transfert du patient en un lit de la SSPI),

a_i^1 : durée de réveil du patient i dans la salle d'opération,

H_m : variable indiquant l'heure de fermeture de la salle d'opération m dans le cas de dépassement des heures régulières,

Y_m : variable indiquant le dépassement des heures régulières dans la salle d'opération m .

4.2.2. Modèle d'ordonnancement

$$(PL6) \text{ Min } Y = \sum_{m=1}^M Y_m \quad (75)$$

Sous les contraintes :

$$t_j^1 + pre_j^1 \geq (t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1) - M(3 - q_{i,j} - h_{i,p} - h_{j,p}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall p \in [1..L] \quad (76)$$

$$t_j^1 + pre_j^1 \geq (t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1) - M(3 - w_{i,j,2} - h_{i,p} - h_{j,p}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall p \in [1..L] \quad (76p)$$

$$t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1 - M(1 - h_{i,p}) \leq B_p, \forall i \in [1..N_2], \forall p \in [1..L] \quad (77)$$

$$t_i^1 + pre_i^1 \geq h_{i,p} A_p, \forall i \in [1..N_2], \forall p \in [1..L] \quad (78)$$

$$t_j^1 \geq (t_i^1 + d_i^1 + a_i^1) - M(3 - q_{i,j} - x_{i,m} - x_{j,m}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall m \in [1..S] \quad (79)$$

$$t_j^1 \geq (t_i^1 + d_i^1 + a_i^1) - M(3 - w_{i,j,1} - x_{i,m} - x_{j,m}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall m \in [1..S] \quad (79p)$$

$$x_{i,m} \leq m_{i,m}, \forall i \in [1..N_2], \forall m \in [1..S] \quad (80)$$

$$t_j^2 \geq (t_i^2 + p_i^2 - a_i^1) - M(3 - p_{i,j} - f_{k,i} - f_{k,j}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j, \forall k \in [1..L_r] \quad (81)$$

$$q_{i,j} + q_{j,i} = 1, \forall i, j \in [1..N_2] / i > j \quad (82)$$

$$p_{i,j} + p_{j,i} = 1, \forall i, j \in [1..N_2] / i > j \quad (83)$$

$$t_j^1 \geq t_i^1 - M(1 - q_{i,j}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j \quad (84)$$

$$t_j^1 \geq t_i^1 - M(1 - w_{i,j,3}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j \quad (84p)$$

$$t_j^2 \geq t_i^2 - M(1 - p_{i,j}), \forall i, j \in [1..N_2] / i \neq j \quad (85)$$

$$t_i^2 = (t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1 + a_i^1), \forall i \in [1..N_2] \quad (86)$$

$$a_i^1 \leq p_i^2, \forall i \in [1..N_2] \quad (87)$$

$$H_m \geq t_i^2 + n_i^1 - M(1 - x_{i,m}), \forall i \in [1..N_2], \forall m \in [1..S] \quad (88)$$

$$Y_m \geq H_m - (C_m + Op), \forall m \in [1..S] \quad (89)$$

$$Y_m \geq 0, \forall m \in [1..S] \quad (90)$$

$$Y_m \leq K_m, \forall m \in [1..S] \quad (91)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} = 1, \forall i \in [1..N_2] \quad (92)$$

$$\sum_{k=1}^K f_{k,i} = 1, \forall i \in [1..N_2] \quad (93)$$

$$x_{i,m}, f_{k,i}, q_{i,j}, p_{i,j} \in \{0,1\}, \forall m \in [1..S], \forall k \in [1..L_r], \forall i, j \in [1..N_2] \quad (94)$$

$$a_i^1 \geq 0, \forall i \in [1..N_2] \quad (95)$$

$$t_i^1, t_i^2 \geq Op, \forall i \in [1..N_2] \quad (96)$$

La fonction objectif (75) permet de minimiser le dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire. Les contraintes (76) assurent qu'un chirurgien ne peut pas opérer plus d'un patient en même temps. Les contraintes (77) et (78) permettent de respecter les profils horaires des chirurgiens au bloc opératoire. Les contraintes (79) assurent qu'une salle d'opération ne peut pas être occupée pour plus d'une intervention. Les contraintes (80) permettent de réaliser l'intervention

dans la salle d'opération où les équipements nécessaires sont disponibles. Les contraintes (81) interdisent qu'un lit de la SSPI soit occupé par plus d'un patient. Les contraintes (82), (83), (92), (93) et (94) sont des contraintes d'intégrité. Les contraintes (92) assurent qu'une intervention est affectée à une seule salle d'opération. Les contraintes (93) assurent qu'une intervention est affectée à un seul lit de la SSPI. Les contraintes (84) et (85) imposent que l'instant de début d'une intervention soit supérieur à l'instant de début de toute intervention qui la précède. Les contraintes (84) concernent les salles d'opération. Les contraintes (85) concernent la SSPI. Les contraintes (86) expriment le lien entre l'ordonnancement des interventions sur les salles d'opération et celui sur les lits de la SSPI. Les contraintes (87) et (95) assurent que la durée de réveil du patient dans la salle d'opération est positive ou nulle et est inférieure à la durée globale de réveil.

L'association des contraintes (88), (89) et (90) avec la fonction objectif permet à la variable H_m de prendre la valeur de l'instant de fermeture de la salle d'opération m dans le cas de dépassement des heures régulières et à la variable Y_m de prendre la valeur du temps supplémentaire d'ouverture de la salle m :

$$H_m = \text{Max}_{i \in [1..N2]/x_{i,m}=1} (t_i^1 + d_i^1) \text{ si } \text{Max}_{i \in [1..N2]/x_{i,m}=1} (t_i^1 + d_i^1) \geq C_m + Op$$

$$Y_m = \text{Max}(0, H_m - (C_m + Op))$$

Les contraintes (91) interdisent de dépasser les heures supplémentaires d'ouverture du bloc opératoire permises par la législation. Les contraintes (96) assurent que toutes les interventions commencent après l'ouverture du bloc opératoire.

Les contraintes (76p), (79p) et (84p) permettent de respecter l'ordre de priorité des interventions. La famille de contraintes (76p) garantit d'établir un ordonnancement selon une règle de priorité à respecter dans chaque salle d'opération. La famille de contraintes (79p) garantit d'établir un ordonnancement qui respecte la priorité fixée par chaque chirurgien aux interventions qu'il va réaliser. Les contraintes (84p) permettent un ordonnancement qui respecte une règle de priorité traduisant un souhait du patient (par exemple, un patient souhaitant être opéré en début de journée ou au contraire en fin de journée). L'ordonnancement respecte une seule règle de priorité ainsi l'une de ces familles de contraintes est retenue dans le modèle, le reste des contraintes sont omises. Dans le cas où il n'existe pas d'interventions ayant la même priorité, l'une des familles de contraintes (76), (79) ou (84) devient superflue. Ainsi, il est possible de l'éliminer tout en maintenant la famille de contraintes de priorité correspondante. Si les interventions à ordonnancer sont de même priorité, les contraintes (76p), (79p) et (84p) ne sont plus nécessaires.

Dans le cas où l'affectation des interventions aux salles d'opération n'est pas reconsidérée (stratégie d'ordonnancement 1), la variable $x_{i,m}$ devient une donnée du problème, récupérée à partir des résultats obtenus à l'étape d'affectation des interventions aux salles d'opération. De plus, les contraintes (80) et (92) ne sont plus nécessaires.

4.3. Expérimentation

Nous utilisons les sous-groupes d'exemples pseudo-réels considérés dans 3.3.

Les profils horaires des chirurgiens sont respectivement [0, 720], [0, 720], [0, 480] et [120, 600].

Nous récupérons les résultats obtenus à l'étape d'affectation des interventions dans l'objectif d'illustrer toute les étapes de la construction d'un programme opératoire. Ainsi, nous ne considérons dans l'ordonnancement que les interventions qui ont été affectées à une salle d'opération (voir tableau 8).

Dans un premier temps, nous allons explorer quelques performances d'une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération. Nous considérons deux scénarios :

- (1) les salles opératoires sont septiques et donc un ordonnancement par ordre croissant du facteur de contamination s'impose. Nous considérons ici aussi bien le cas où durant une journée un chirurgien opère dans la même salle d'opération que le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération,
- (2) les interventions à ordonnancer sont de même priorité. Nous considérons le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée.

Dans un deuxième temps, nous nous intéressons à l'étude de quelques performances d'une programmation opératoire centrée sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI ». Nous considérons les deux scénarios suivants :

- (1) les salles opératoires sont septiques et donc un ordonnancement par ordre croissant du facteur de contamination s'impose. Nous considérons ici aussi bien le cas où durant une journée un chirurgien opère dans la même salle d'opération que le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération. Pour ce dernier cas, nous étudions la deuxième stratégie d'ordonnancement présentée ci-dessus (Cf. § 4.2).
- (2) les interventions à ordonnancer sont de même priorité. Nous considérons les deux stratégies d'ordonnancement (Cf. § 4.2) en se situant dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée.

4.3.1. Données

Nous employons les données introduites dans 3.3.1.

La durée d'installation du patient et de son induction est de :

- 10 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est inférieure à 60 minutes,
- 20 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est comprise entre 60 et 120 minutes,
- 30 minutes pour les autres.

Les durées de réveil du patient en minutes sont générées aléatoirement suivant une distribution log-normale de moyenne la durée de l'acte chirurgical diminuée de 10, et d'écart type 15. Ces données sont déduites de [Kharraja *et al.*, 2002].

Les indices de contamination, ASA, varient de 1 à 5 [Marcon et Kharraja, 2002a]. Le code ASA d'une intervention est tiré aléatoirement suivant une distribution équiprobable dans l'intervalle [1..5].

Nous attribuons à la constante M la valeur 720 qui correspond ici au temps maximal d'ouverture de toutes les salles d'opération.

4.3.2. Résultats

4.3.2.1. Ordonnancement centré sur les salles d'opération

Le tableau 10 rapporte les résultats obtenus dans le cas d'un ordonnancement centré sur les salles d'opération. Pour chaque problème traité, référé par un numéro (N°) identique à celui dans 3.3.2, nous donnons :

- le nombre d'interventions considérées dans l'ordonnancement lorsqu'un chirurgien opère dans la même salle durant une journée (N_2S_1),

- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes obtenu dans le cas du scénario (1) lorsque un chirurgien opère dans la même salle durant une journée ($Z(S_1S_1)$),
- le nombre d'interventions considérées dans l'ordonnancement des interventions dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée (N_2S_2),
- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes obtenu dans le cas du scénario (1) lorsqu'un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée ($Z(S_2S_1)$),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($CPU(S_2S_1)$),
- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes obtenu dans le cas du scénario (2) lorsque un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée ($Z(S_2S_2)$),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($CPU(S_2S_2)$).

N°	Scénario 1					Scénario 2	
	N_2S_1	$Z(S_1S_1)$	N_2S_2	$Z(S_2S_1)$	$CPU(S_2S_1)$	$Z(S_2S_2)$	$CPU(S_2S_2)$
1	8	48	8	48	1.25	19	1.97
2	9	21	10	13	2.12	0	8.89
3	10	103	10	21	2.92	17	112.70
4	8	101	8	24	1.19	18	1.42
5	9	114	10	45	1.52	39	5.54
6	9	6	9	6	16.49	6	7.85
7	12	42	12	0	3.26	0	5.22
8	7	159	7	121	1.01	85	1.01
9	10	26	11	37	8.24	27	495.32
10	9	67	9	22	12.74	11	2.37
11	9	6	9	27	14.57	19	6.79
12	10	62	10	33	2.12	9	107.33
13	10	0	11	37	2.75	37	37.27
14	9	123	8	43	1.17	43	1.12
15	10	41	11	0	4.98	0	2.02
16	8	21	10	37	4.17	25	121.44
17	8	31	9	100	13.87	100	6.79
18	8	36	9	80	13.52	12	1.31
19	10	52	10	16	1.61	8	5.54
20	10	65	13	59	90.45	52*	1052.00
21	9	38	9	4	3.24	0	8.40
22	8	19	9	58	2.94	33	4.19
23	9	35	10	56	3.58	55	132.29
24	8	15	10	96	6.26	54	39.87
25	11	120	11	8	22.14	8	199.43

(*) C'est la meilleure solution (elle n'est pas nécessairement optimale) trouvée après le temps de calcul indiqué.

Tableau 10 : Ordonnancement centré sur les salles d'opération

Dans le tableau 11, nous avons présenté les dépassements des heures régulières moyens (Z_{moyen}) évalués à partir des résultats de l'ordonnancement centré sur les salles d'opération. Nous avons également représenté les dépassements des heures régulières moyens évalués à l'étape d'affectation (voir tableau 9) dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée ($TMOS_1$) et dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles ($TMOS_2$).

$TMOS_1$	$TMOS_2$	$Z_{moyen}(S_1S_1)$ (en minutes)	$Z_{moyen}(S_2S_1)$ (en minutes)	$Z_{moyen}(S_2S_2)$ (en minutes)
40.08	17.56	53.04	39.64	27.08

Tableau 11 : Dépassement des heures régulières

Le dépassement des heures régulières déterminé en tenant compte de l'ordonnancement est plus important que celui déterminé en tenant compte uniquement de l'affectation. Lorsqu'il s'agit d'un bloc opératoire composé de salles d'opération septiques, le dépassement des heures régulières moyen est plus important dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée que dans le cas où un chirurgien opère sur plusieurs salles.

Par ailleurs, la prise en compte du facteur de contamination dans l'ordonnancement augmente le dépassement des heures régulières. En effet, les contraintes de priorité réduisent l'espace de recherche d'un ordonnancement optimal (espace des solutions réalisables).

4.3.2.2. Ordonnancement centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI »

Dans le tableau 12, nous présentons les résultats obtenus dans le cas d'un ordonnancement centré sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI ». Pour chaque problème traité, référé par un numéro (N°) identique à celui dans 3.3.2, nous donnons :

- le nombre d'interventions considérées dans l'ordonnancement des interventions dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle durant une journée (N_2S_1),
- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes obtenu dans le cas du scénario (1) lorsqu'un chirurgien opère dans la même salle durant une journée ($Z(S_1S_1A_2)$),
- le nombre d'interventions considérées dans l'ordonnancement des interventions dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée (N_2S_2),
- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes obtenu dans le cas du scénario (1) lorsqu'un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée en adoptant la stratégie (2) d'ordonnancement ($Z(S_2S_1O_2)$),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($CPU(S_2S_1O_2)$),
- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes obtenu dans le cas du scénario (2) en recourant à la stratégie (1) d'ordonnancement ($Z(S_2S_2O_1)$),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($CPU(S_2S_2O_1)$),
- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes obtenu dans le cas du scénario (2) en recourant à la stratégie (2) d'ordonnancement ($Z(S_2S_2O_2)$),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($CPU(S_2S_2O_2)$).

N°	Scénario 1					Scénario 2			
	N_2S_1	$Z(S_1S_1A_2)$	N_2S_2	$Z(S_2S_1O_2)$	$CPU(S_2S_1O_2)$	$Z(S_2S_2O_1)$	$CPU(S_2S_2O_1)$	$Z(S_2S_2O_2)$	$CPU(S_2S_2O_2)$
1	8	48	8	58	8.37	48	1.68	19	10.74
2	9	21	10	13	11.58	0	6.14	0	296.13
3	10	178	10	53	45.56	17	10.87	17	13005.69
4	8	101	8	24	3.26	36	1.68	18	29.49
5	9	213	10	46	13.64	39	6.45	39	102.99
6	9	6	9	6	8.68	6	2.64	6	198.55
7	12	42	12	0	9.17	0	6.52	0	5.98
8	7	159	7	121	1.32	119	1.17	85	1.67
9	10	70	11	37	42.65	27	16.35	27*	1018
10	9	130	9	32	8.47	11	1.71	11	103.98
11	9	86	9	47	34.59	28	2.51	22	1023.51
12	10	62	10	38	47.79	9	3.69	9	2132.97
13	10	0	11	37	12.33	50	10.53	37	1458.83
14	9	123	8	43	2.63	43	1.66	43	3.55
15	10	41	11	0	67.28	0	3.33	0	48.84
16	8	21	10	37	31.13	33	5.33	27	2507.37
17	8	31	9	100	3.00	132	3.10	100	80.31
18	8	36	9	80	2.75	22	1.70	12	7.51
19	10	52	10	16	4.64	8	2.02	8	646.86
20	10	65	13	59	749.44	52	286.12	52*	8115.76
21	9	43	9	48	75.66	0	8.28	0	142.38
22	8	19	9	77	6.37	33	4.01	33	78.71
23	9	35	10	63	771.27	55	28.68	55	1337.63
24	8	15	10	96	157.39	106	10.23	59	1637.63
25	11	162	11	15	563.22	8	12.99	8	2894.32

(*) C'est la meilleure solution (elle n'est pas nécessairement optimale) trouvée après le temps de calcul indiqué.

Tableau 12 : Ordonnancement centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI »

Dans le cas où un chirurgien opère sur plusieurs salles durant une journée et lorsque toutes les interventions sont de même priorité, la stratégie (1) permet de trouver un ordonnancement optimal en un temps intéressant (largement inférieur à une heure). Néanmoins, la stratégie (2) permet de trouver un ordonnancement en un temps raisonnable. Dans 88% des cas, une solution optimale a été trouvée en un temps inférieur à une heure. Toutefois, nous avons noté des temps de calcul relativement importants pour quelques exemples (dans 12% des cas, une solution optimale n'a pas été encore trouvée après deux heures de temps). La stratégie (1) a permis de déterminer une solution optimale pour 64% des cas avec un temps beaucoup plus faible que celui mis pour déterminer la même solution en recourant à la stratégie (2).

Dans le cas où un chirurgien opère sur plusieurs salles durant une journée avec des interventions qui ne sont pas de même priorité, nous avons commencé par la recherche d'un ordonnancement des interventions en reconsidérant l'affectation (stratégie 2). Nous avons obtenu des résultats intéressants en terme de temps de calcul (dans tous les cas, une solution optimale a été déterminée en un temps largement inférieur à une heure). Ainsi, nous n'avons pas vu la nécessité, pour ce scénario, de recourir à un ordonnancement basé sur l'utilisation de la stratégie (1). Cependant, lorsque les interventions sont de même priorité et qu'une solution doit être déterminée en un temps limité, nous recommandons une utilisation simultanée des deux stratégies (1) et (2). La meilleure solution sera retenue.

L'affectation des interventions a pour objectif de minimiser les coûts engendrés par cette décision. Ces coûts englobent le coût d'exploitation du bloc opératoire. Cependant, les résultats de l'affectation concernant l'exploitation du bloc opératoire ne sont pas définitifs. En effet, c'est par l'ordonnancement que les instants de fermeture de chaque salle d'opération sont précisés. Ainsi, nous avons rétabli le calcul des coûts engendrés en recourant aux résultats d'ordonnancement.

Dans le cas où un chirurgien opère sur plusieurs salles durant une journée avec des interventions de même priorité, un ordonnancement des interventions sans reconsidérer l'affectation des interventions fait augmenter les coûts en moyenne de 1.0 % par rapport à l'affectation. Un ordonnancement en reconsidérant l'affectation des interventions fait hausser en moyenne les coûts de 0.4 % par rapport à l'affectation. Dans le cas où il existe une priorité entre les interventions, les coûts ont augmenté en moyenne de 3.3 % par rapport à l'affectation. Ainsi, la prise en compte du facteur de contamination (dans le cas de salles d'opération septiques) dans l'ordonnancement augmente les coûts en moyenne de 2.9%.

Dans le tableau 13, nous avons présenté les dépassements des heures régulières moyens (Z_{moyen}) évalués à partir des résultats d'ordonnancement centré sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI». Nous avons également représenté les dépassements des heures régulières moyens évalués à l'étape d'affectation (voir tableau 9) dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée (TMOS₁) et dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles (TMOS₂).

TMOS ₁	TMOS ₂	$Z_{\text{moyen}}(S_1S_1A_2)$ (en minutes)	$Z_{\text{moyen}}(S_2S_1O_2)$ (en minutes)	$Z_{\text{moyen}}(S_2S_2O_1)$ (en minutes)	$Z_{\text{moyen}}(S_2S_2O_2)$ (en minutes)
40.08	17.56	70.36	45.84	35.28	27.48

Tableau 13 : Dépassement des heures régulières

Lorsqu'il s'agit d'un bloc opératoire composé de salles d'opération septiques, le dépassement des heures régulières moyen est plus important dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle d'opération durant une journée que dans le cas où il opère sur plusieurs salles.

Le dépassement des heures régulières moyen n'est pas très important. L'écart en valeur entre le dépassement des heures régulières moyen obtenu dans l'ordonnancement et celui obtenu dans l'affectation non plus. Toutefois, cet écart en pourcentage est important (il est de 160% pour le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles avec priorité entre les interventions).

Afin de garantir un ordonnancement sans dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire, nous recommandons de considérer dans le modèle d'affectation un nombre d'heures régulières moins important que ce qu'il est réellement. Cependant, une telle diminution peut diminuer le nombre des interventions programmées par jour.

4.4. Dimensionnement de la SSPI permettant une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération

La sélection d'une approche de programmation opératoire centrée sur les salles d'opération ou centrée sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI» dépend du dimensionnement de la SSPI en nombre de lits (ici nous supposons que les lits sont la ressource critique de la SSPI).

Vu les avantages que présente une approche de programmation opératoire centrée sur les salles d'opération en termes de facilité de mise en œuvre et d'amélioration dans l'utilisation des salles opératoires (voir tableaux 11 et 13), il semble intéressant de déterminer le dimensionnement de la SSPI en nombre de lits autorisant l'adoption de cette approche.

Le dimensionnement de la SSPI en nombre de lits revient à déterminer le nombre de lits suffisant. Nous définissons comme nombre de lits de réveil suffisant, le nombre maximal de patients pouvant avoir besoin simultanément de la SSPI.

Nous proposons ici une heuristique basée sur la décomposition du problème d'ordonnancement en deux étapes :

- une étape d'ordonnancement des interventions au niveau des salles d'opération,
- une étape d'affectation des interventions aux lits de réveil.

Cette heuristique permet aussi bien l'ordonnancement des interventions centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI » que la détermination du nombre de lits autorisant une programmation opératoire centrée les salles d'opération.

L'ordonnancement des interventions au niveau des salles d'opération revient à un ordonnancement des interventions centré sur les salles d'opération. L'affectation des interventions aux lits de réveil permet de vérifier si le nombre de lits de réveil existant est supérieur ou égal au nombre de lits suffisant. Au cas d'indisponibilité d'un lit de réveil à l'instant de fin de réalisation de l'acte chirurgical, le réveil du patient commence dans la salle d'opération ce qui génère un retard dans la réalisation du programme opératoire de la salle d'opération concernée mais aussi d'autres salles si les chirurgiens opèrent sur plusieurs salles dans une journée. Cette indisponibilité peut engendrer un réveil entier du patient dans la salle d'opération. Dans ce cas, cette intervention n'est affectée à aucun lit de réveil. L'affectation, dans ces cas, vient corriger l'ordonnancement établi à l'étape précédente.

Désormais, lorsque la SSPI est équipée d'un nombre de lits supérieur ou égal au nombre de lits suffisant, il n'est plus utile de considérer la deuxième étape de cette heuristique. L'utilisation ainsi d'une approche d'ordonnancement centrée sur les salles d'opération devient justifiée. Le nombre de lits suffisant peut être déterminé par simulation.

4.4.1. Heuristique d'ordonnancement et de détermination du nombre de lits suffisant

La première étape consiste à ordonnancer les interventions à réaliser au niveau des salles d'opération (voir § 4.1). La deuxième étape consiste à affecter les interventions aux lits de la SSPI par ordre croissant des instants de fin d'exécution de l'acte chirurgical dans les salles d'opération ($t_i^1 + d_i^1 - n_i^1$). Elle permet également de déterminer le nombre de lits de la SSPI autorisant une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération.

Dans ce qui suit, nous présentons l'algorithme d'affectation des interventions aux lits de la SSPI (la deuxième étape). Nous précisons que nous avons repris les mêmes notations que dans la partie 4.2.1.

Algorithme d'affectation des interventions aux lits de la SSPI

Étape 1 : Initialisation

- $S_m = (i_{(1,m)}, i_{(2,m)}, \dots, i_{(q_m,m)})$: séquence des interventions à réaliser dans la salle d'opération m , $\forall m \in [1..S]$
- $C_p = (i_{(1,p)}, i_{(2,p)}, \dots, i_{(c_p,p)})$: séquence des interventions à réaliser par le chirurgien p , $\forall p \in [1..L]$
- $Q = (i_1, i_2, \dots, i_{N_2})$: liste des interventions classées par ordre croissant des instants de fin d'exécution de l'acte chirurgical
- Nombre de lits suffisant = Nombre de lits existant
- $\Omega := \emptyset$

Étape 2 : Détermination du nombre de lits de suffisant

Pour $s=1$ à N_2 Faire

Soit ψ l'ensemble des lits de la SSPI disponibles à l'instant de fin de réalisation de l'acte chirurgical de l'intervention i_s

Si ψ est vide Alors Nombre de lits suffisant := Nombre de lits suffisant +1

Étape 3 : Affectation des interventions aux lits de la SSPI

Pour $s=1$ à N_2 Faire

- Si à l'instant de fin d'exécution de l'intervention i_s , il y a au moins un lit disponible dans la SSPI Alors affecter l'intervention i_s à l'un des lits disponibles
- Sinon
 - Affecter cette intervention au lit de la SSPI libre le premier (celui ayant le plus faible temps d'indisponibilité résiduelle ind)
 - Sélectionner $i_{(j,m)}$, désignant l'intervention i_s dans S_m
 - Si $i_{(j,m)}$ est la dernière intervention à réaliser dans la salle m alors
 - $H_m := H_m + ind$
 - Sinon
 - Pour $k=1$ à $q_m - j$ faire
 - Déterminer le retard dans le début d'exécution de l'intervention $i_{(j+k,m)}$:
Retard ($i_{(j+k,m)}$) = $\text{Max}(0, t_{i_{(j+k-1,m)}}^1 + d_{i_{(j+k-1,m)}}^1 + ind - t_{i_{(j+k,m)}}^1)$
 - Déterminer p , l'indice du chirurgien chargé de l'intervention $i_{(j+k,m)}$
 - Déterminer $i_{(f,p)}$, désignant l'intervention $i_{(j+k,m)}$ dans C_p
 - Calculer le nouveau instant de début de l'intervention $i_{(j+k,m)}$:
 $t_{i_{(j+k,m)}}^1 := \text{Max}(t_{i_{(j+k,m)}}^1 + \text{Retard}(i_{(j+k,m)}), t_{i_{(f-1,p)}}^1 + d_{i_{(f-1,p)}}^1 - n_{i_{(f-1,p)}}^1 - pre_{i_{(j+k,m)}}^1)$
 - S'il reste au chirurgien p une intervention $i_{(f+r,p)}$ à réaliser après $i_{(j+k,m)}$ dans une salle d'opération $m'/m' \neq m$ Alors
 - S'il n'existe aucun triplet de Ω ayant m' comme premier terme Alors
 - $\Omega := \Omega \cup \{(m', i_{(f+r,p)}, i_{(h,m')})\}$
 - $H_{m'} := H_{m'} + t_{i_{(q_m,m)}}^1 + d_{i_{(q_m,m)}}^1$
 - Tant que Ω est non vide faire
 - Sélectionner un élément $(m', i_{(f+r,p)}, i_{(h,m')})$ de Ω
 - $\Omega := \Omega / \{(m', i_{(f+r,p)}, i_{(h,m')})\}$
 - Pour $k=0$ à $q_m' - h$ faire
 - Déterminer p' , l'indice du chirurgien chargé de l'intervention $i_{(h+k,m')}$

- Déterminer $i_{(f',p')}$, désignant l'intervention $i_{(h+k,m')}$ dans C_p .
- Calculer le nouveau instant de début de l'intervention $i_{(h+k,m')}$:

$$t_{i_{(h+k,m')}}^1 := \text{Max}(t_{i_{(h+k,m')}}^1, t_{i_{(f'-1,p')}}^1 + d_{i_{(f'-1,p')}}^1 - n_{i_{(f'-1,p')}}^1 - \text{pre}_{i_{(h+k,m')}}^1)$$
- S'il reste au chirurgien p' reste une intervention $i_{(f'+w,p')}$ à réaliser après $i_{(h+k,m')}$ dans une salle d'opération $m''/m'' \neq m'$ Alors
 - S'il n'existe aucun triplet de Ω ayant m'' comme premier terme Alors
 - $\Omega := \Omega \cup \{(m'', i_{(f'+w,p')}, i_{(h+k,m')})\}$
- $H_m := H_m + t_{i_{(qm,m')}}^1 + d_{i_{(qm,m')}}^1$

L'algorithme comporte trois étapes. La première étape permet d'initialiser les paramètres en fonction de l'ordonnancement des interventions au niveau des salles d'opération. L'objectif de la deuxième étape est de déterminer le nombre de lits suffisant. La troisième étape consiste à corriger l'ordonnancement centré sur les salles d'opération suite à l'indisponibilité d'un lit de la SSPI à l'instant de fin de réalisation d'un acte chirurgical. Il s'agit, tout d'abord, de recalculer les instants de début des interventions qui restent à réaliser dans la salle d'opération bloquée (1). Pour chacune de ces interventions, il faut vérifier s'il reste au chirurgien responsable de sa réalisation d'autres interventions à réaliser dans d'autres salles d'opération. Dans ce cas, il faut recalculer l'instant de début de chacune de ces interventions et repérer la salle d'opération où celle-ci sera réalisée (2). Ensuite, il s'agit de reprendre les points (1) et (2) pour chaque salle d'opération qui vient d'être repérée (dans (2)).

4.4.2. Résultats expérimentaux

En considérant la même série de problèmes pseudo-réels présentés en 3.3. et 4.3., nous proposons de déterminer le nombre de lits de la SSPI autorisant un ordonnancement centré sur les salles d'opération. Nous avons fait appel ici uniquement à la deuxième étape de l'algorithme d'affectation des interventions. Cependant, dans [Jebali *et al.*, 2003f] nous avons présenté des résultats expérimentaux d'un ordonnancement construit par l'heuristique d'ordonnancement et de détermination du nombre de lits suffisant.

Par ailleurs, nous soulignons que nous avons considéré toujours le cas d'un bloc opératoire composé de 3 salles d'opération et une salle de réveil comportant 4 lits. Deux scénarios sont considérés : (1) les interventions ne sont pas de même priorité ; (2) les interventions sont de même priorité.

Pour le scénario (1), nous supposons que les salles opératoires sont septiques et donc un ordonnancement par ordre croissant du facteur de contamination s'impose.

Dans le tableau 14, nous présentons les résultats obtenus. Pour chaque problème traité, référencé par un numéro (N°), nous donnons :

- le nombre d'interventions considérées dans l'ordonnancement des interventions dans le cas où un chirurgien opère dans la même salle durant une journée (N_2S_1),
- le nombre de lits suffisant obtenu dans le cas du scénario (1) lorsqu'un chirurgien opère dans la même salle durant une journée ($NLS(S_1S_1)$),
- le nombre d'interventions considérées dans l'ordonnancement des interventions dans le cas où un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée (N_2S_2),
- le nombre de lits suffisant obtenu dans le cas du scénario (1) lorsqu'un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée ($NLS(S_2S_1)$),

- le nombre de lits suffisant obtenu dans le cas du scénario (2) lorsqu'un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée (NLS(S₂S₂)).

N°	Scénario 1				Scénario 2
	N ₂ S ₁	NLS(S ₁ S ₁)	N ₂ S ₂	NLS(S ₂ S ₁)	NLS(S ₂ S ₂)
1	8	4	8	5	4
2	9	4	10	4	4
3	10	6	10	5	4
4	8	4	8	4	4
5	9	6	10	6	4
6	9	4	9	4	5
7	12	4	12	4	4
8	7	4	7	4	4
9	10	5	11	4	4
10	9	5	9	5	5
11	9	6	9	6	5
12	10	4	10	6	5
13	10	5	11	4	4
14	9	4	8	4	4
15	10	4	11	4	4
16	8	4	10	4	5
17	8	4	9	4	4
18	8	4	9	4	4
19	10	4	10	4	5
20	10	4	13	4	4
21	9	5	9	6	5
22	8	4	9	5	5
23	9	4	10	6	6
24	8	4	10	5	4
25	11	5	11	5	5

Tableau 14 : Nombre de lits de la SSPI autorisant un ordonnancement centré sur les salles d'opération

Cette expérimentation montre qu'une salle d'opération a besoin de 2.0 lits dans la SSPI. Ainsi ce résultat soutient l'idée qu'une salle d'opération a besoin de 1.5-2.0 lits dans la SSPI [Dexter et Thinker, 1995]. Par ailleurs, ces auteurs soulignent que le nombre de lits en SSPI dépend de la stratégie d'ordonnancement.

Dans le cas du scénario (1) lorsqu'un chirurgien opère dans la même salle durant une journée, s'il existe des interventions à réaliser dans une même salle d'opération ayant la même priorité, nous les avons ordonnancées selon la règle SPT. Pour l'exemple 3, nous avons noté que le nombre de lits suffisant augmente lorsque nous adoptons un séquençement selon la règle LPT (NLS=7) au lieu de la règle SPT (NLS=6).

Par ailleurs, si nous représentons le nombre de lits de la SSPI utilisés simultanément en fonction du temps, nous remarquons que le nombre « NLS » est généralement atteint en fin de journée (par rapport à l'ouverture du bloc opératoire). Cette constatation permet d'expliquer pourquoi un séquençement des interventions dans chaque salle d'opération selon la règle LPT nécessite l'immobilisation d'un nombre de lits plus important afin de permettre un ordonnancement centré sur les salles d'opération.

Dans le tableau 15, nous avons présenté en se basant sur les résultats obtenus et pour chaque cas de figure étudié (S_1S_1 , S_2S_1 et S_2S_2), le pourcentage des cas où le nombre de lits existant permettait un ordonnancement centré sur les salles d'opération (pourcentage des cas où aucun blocage n'a été observé). Nous avons également estimé le pourcentage des cas où le nombre de lits permettant un ordonnancement centré sur les salles d'opération est inférieur ou égal à 5.

	S_1S_1	S_2S_1	S_2S_2
%(NLS£4)	68	56	60
%(NLS£5)	92	80	96

Tableau 15 : Pourcentage cumulé des cas nécessitant un nombre donné de lits suffisant

Dans le cas du scénario (1) lorsqu'un chirurgien opère dans la même salle durant une journée (S_1S_1) ainsi que dans le cas du scénario (2) lorsqu'un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée (S_2S_2), il est possible de rajouter uniquement (par exemple dans un premier temps) un cinquième lit à la SSPI puisqu'il est rare d'observer pour ce nombre de lits un blocage de patients dans la salle d'opération.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques stratégies pour la construction d'un programme opératoire journalier. Les différentes stratégies proposées utilisent une méthode qui s'insère dans le cadre d'une programmation opératoire de type ouverte.

La construction du programme opératoire se réalise en deux étapes :

- une étape d'affectation des interventions aux salles d'opération. Cette affectation permet de fixer les interventions à ordonnancer en minimisant l'attente des patients, la sur-utilisation du bloc opératoire ainsi que sa sous-utilisation.
- une étape d'ordonnancement des interventions. Cette étape permet de définir de façon plus précise le programme opératoire. L'objectif est d'établir un ordonnancement qui minimise le dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire. Nous avons abordé ici les deux approches d'ordonnancement : (1) un ordonnancement centré sur les salles d'opération ; (2) un ordonnancement centré sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI».

La sélection d'une approche de programmation opératoire centrée sur les salles d'opération ou centrée sur l'ensemble «salles d'opération-SSPI» dépend du dimensionnement de la SSPI en nombre de lits. Ainsi, nous avons proposé une heuristique permettant, entre autres, de déterminer le nombre de lits de réveil autorisant l'utilisation d'une approche de programmation opératoire centrée sur les salles d'opération.

Dans le chapitre suivant, nous proposons une approche pour le pilotage temps-réel du système de production de soins ainsi considéré. L'objectif est d'aider le système de production de soins à réagir devant des aléas très importants, nécessitant de repenser la décision prévisionnelle telle que la prise en charge de patients venant en urgence.

Chapitre 5 : Vers un pilotage temps-réel du bloc opératoire

Dans ce chapitre, nous exposons une approche temps-réel pour aider au pilotage du bloc opératoire devant l'occurrence d'aléas nécessitant de repenser la décision prévisionnelle. Nous traitons ici de près le cas de la prise en compte de l'urgence dans le bloc opératoire.

1. Introduction

Le fonctionnement du bloc est déterminé par un programme opératoire prévisionnel qui précise les patients à opérer dans la journée ainsi que les différentes ressources affectées à chaque intervention. Dans le chapitre précédent, nous avons proposé quelques stratégies pour la construction d'un programme opératoire journalier. Cependant, ce programme opératoire n'est pas souvent respecté à cause des différents types d'aléas qui peuvent survenir. Parmi ces aléas, nous pouvons citer l'incertitude dans la prévision des temps opératoires, l'occurrence de co-morbidités, les complications imprévues, l'arrivée de cas urgents à opérer dans la journée avant une heure donnée.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons particulièrement à l'étude de la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire. Nous prônons l'utilisation d'une approche temps-réel basée sur les RdP T-temporels et la modélisation mathématique pour aider au pilotage du système de soins devant l'occurrence de ce type d'aléas qui nécessitent de repenser la décision prévisionnelle.

2. Sur la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire

L'arrivée de cas urgents au bloc opératoire vient souvent modifier le programme opératoire prévisionnel. Une étude effectuée dans un centre hospitalier québécois a montré que 69% des perturbations causant la modification du programme opératoire prévisionnel sont de type urgence [Lafon et Landry, 2001]. Rossi-Turk [Rossi-Turk, 2002] a noté, en se référant à la situation observée pour quatre hôpitaux belges, que pratiquement 80% de l'activité du bloc opératoire correspond à des interventions programmées, 20% de l'activité correspond à des interventions urgentes. L'auteur fait, par ailleurs, remarquer que la stabilité du programme dépend fortement des spécialités.

Malgré l'importance des aléas, notamment ceux de type urgence, auxquels est affrontée l'activité du bloc opératoire, peu nombreux sont les travaux qui ont abordé ce problème.

Quelques études [Dexter *et al.*, 1999c] [Dexter et Neil, 2001] ont porté cependant sur le problème de la prise en compte de l'urgence dans le bloc opératoire en fin de semaine.

Dexter [Dexter *et al.*, 1999c] définit une urgence comme un cas arrivant pendant les heures non régulières d'ouverture du bloc opératoire (en fin de semaine) et dont l'état de santé ne permet pas d'attendre. Les auteurs proposent différentes méthodes d'ordonnancement des cas urgents arrivant en fin de semaine. L'ordonnancement doit satisfaire les contraintes de date limite associée à chaque intervention urgente. Trois objectifs ont été considérés : (1) minimiser le temps moyen d'attente des patients ; (2) respecter l'ordre d'arrivée des patients (Premier arrivé, Premier Servi) ; (3) essayer de satisfaire la priorité médicale, la priorité convenue entre les chirurgiens et les responsables du bloc.

Dexter et Neil [Dexter et Neil, 2001] décrivent une méthode statistique pour déterminer le nombre minimum des équipes de bloc opératoire (chirurgiens, infirmiers et médecins anesthésistes/réanimateurs) à assurer la prise en charge des cas arrivant en urgence en fin de semaine. L'objectif est de minimiser le coût du personnel en satisfaisant le niveau de service prédéfini.

Marcon [Marcon *et al.*, 2001a] propose un outil d'aide à la négociation dans le bloc opératoire basé sur le calcul du risque de non réalisation (RNR) du programme opératoire. Ils proposent d'exploiter cet indicateur aussi bien dans la construction du programme opératoire prévisionnel que dans le

suivi temps-réel de sa réalisation. A certains instants donnés de la journée, le RNR est calculé. Si le programme réalisé s'éloigne du programme prévisionnel, les auteurs recommandent alors de modifier le programme opératoire prévisionnel.

Une méthode pour la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire a été présentée dans le cadre d'un travail de DEA que nous avons encadré [Hammami, 2002]. L'objectif était d'étudier la possibilité d'insérer l'urgence dans le programme opératoire en cours de réalisation en minimisant les coûts engendrés [Jebali *et al.*, 2003b]. Il faut dans ce contexte noter qu'une urgence peut être refusée parce qu'il est impossible de l'insérer. Dans ce cas elle sera transférée à d'autres établissements de soins.

La méthode proposée comporte deux phases :

- La première phase : elle a pour objectif d'étudier s'il est possible d'introduire l'urgence. Dans un premier temps, il s'agit de trouver au moins une salle d'opération dans laquelle il est possible d'insérer l'urgence. Cette possibilité est déterminée en considérant d'une part l'heure limite avant laquelle l'intervention urgente doit commencer, d'autre part les temps résiduels de disponibilité de la salle d'opération selon qu'elle est en phase d'utilisation, de nettoyage ou de préparation. Dans le cas où l'urgence peut être acceptée, nous examinons si elle peut être insérée, tout en maintenant le séquençement du programme opératoire prévisionnel sans dépasser les heures régulières d'ouverture du bloc. S'il existe une salle d'opération où il est possible d'insérer l'urgence sans changer le séquençement du programme opératoire prévisionnel alors cette première phase revient à une méthode de *right-shift rescheduling*. La solution d'insertion de l'urgence est complètement donnée à la fin de cette première phase. Toutefois, si l'insertion de l'urgence induit un dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc alors l'urgence ne peut être acceptée que s'il reste possible de réaliser toutes les interventions du programme opératoire qui ne peuvent être reportées au jour suivant. Il s'agit d'appliquer une méthode de *complete rescheduling*. La solution finale d'insertion de l'urgence est donnée au bout de la deuxième phase de la méthode. Dans tous les cas où il est possible d'accepter l'urgence, à la fin de la première phase seront déterminées la salle d'opération choisie ainsi que la date de début de l'intervention à insérer. Cette phase utilise un algorithme permettant de déterminer la possibilité d'introduction de l'urgence. Cet algorithme est exposé dans [Jebali *et al.*, 2003b].
- La deuxième phase : elle a pour objectif de chercher un ré-ordonnement, en deux étapes, des interventions restantes et qui ne sont pas urgentes. Une première étape permet de réaffecter les interventions restantes aux différentes salles d'opérations. La deuxième étape consiste à déterminer le séquençement des interventions. L'objectif par la réaffectation est de minimiser le coût d'introduction de l'urgence. Ce coût est la somme du coût généré par l'attente des patients et du coût d'ouverture des salles d'opérations pendant les heures supplémentaires. En ayant recours à la modélisation mathématique, nous avons obtenu un programme linéaire mixte de réaffectation. Pour le séquençement, nous avons opté pour une utilisation des deux règles de priorité LPT et SPT entre les différentes salles. Notre motivation est d'augmenter les chances d'introduire, éventuellement, une future urgence dans le programme opératoire.

Hammami [Hammami *et al.*, 2003] propose une extension de ce travail en adoptant une approche multi-objectifs pour l'introduction de l'urgence dans le bloc opératoire. En effet, la méthode proposée dans [Hammami, 2002] n'assure pas l'équilibrage des charges des salles d'opération. Ainsi, des salles d'opération peuvent être sous-exploitées alors que d'autres sont sur-exploitées, ce qui engendre souvent des tensions entre les différents acteurs du bloc opératoire. Désormais, une approche multi-objectifs doit permettre aussi bien un équilibrage des charges des salles d'opération qu'une minimisation des coûts d'insertion de l'urgence.

Dans ces travaux , nous avons considéré les hypothèses suivantes :

1. l'instant d'arrivée d'un cas urgent nécessitant une intervention chirurgicale, le jour même avant une heure donnée, est supposé complètement ignoré,
2. une équipe chirurgicale et une équipe d'anesthésie sont disponibles dans chaque salle d'opération tout au long de son ouverture,
3. les salles d'opérations sont suffisamment équipées pour accepter toutes les interventions programmées et toute urgence,
4. la salle de soins post-interventionnelles (SSPI) est bien dimensionnée en lits de réveil,
5. le service de réanimation comporte suffisamment de lits réservés pour les cas urgents,
6. pour chaque intervention programmée ou urgente, nous connaissons la durée moyenne de l'intervention, les durées de préparation et de nettoyage de la salle,
7. une urgence peut être refusée,
8. dans le programme opératoire prévisionnel, toutes les interventions se déroulant dans une même salle d'opération, sont consécutives et sans attente.

Dans ce chapitre, nous allons relever les hypothèses 2, 3, 4, 5 et 8 en supposant que :

- une équipe chirurgicale (excepté le chirurgien) et une équipe d'anesthésie sont disponibles dans chaque salle d'opération tout au long de son ouverture,
- un chirurgien opère sur plusieurs salles durant une journée,
- les salles d'opération ne sont pas nécessairement équivalentes ; la réalisation d'une intervention peut nécessiter une salle d'opération donnée,
- la salle de soins post-interventionnelle (SSPI) n'est pas nécessairement bien dimensionnée en lits de réveil,
- le service de réanimation comporte des lits réservés pour les cas urgents mais qui peuvent être indisponibles à l'arrivée de l'urgence,
- dans le programme opératoire prévisionnel, toutes les interventions se déroulant dans une même salle d'opération, ne sont pas nécessairement consécutives et sans attente.

Par ailleurs, nous supposons que la décision d'accepter ou de refuser une urgence est prise bien avant l'arrivée de celle-ci à l'hôpital.

3. Une approche pour la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire

L'approche que nous proposons part de l'existence d'analogies entre système de production de biens et système de production de soins. En effet, le bloc opératoire est un système de production de soins dont les processus sont parfaitement identifiables ; il peut donc s'apparenter à un système de production classique [Chaabane *et al.*, 2003]. Ainsi, pourquoi ne pas appliquer au bloc opératoire des concepts et des outils qui ont fait leur preuve dans le milieu industriel.

Afin d'aborder le problème de la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire, il nous semble ainsi intéressant de recourir aux différents travaux qui ont porté sur le problème de la prise en compte de l'aléa dans l'environnement industriel.

3.1. La prise en compte de l'aléa dans l'environnement industriel

Les perturbations généralement traitées dans le milieu industriel sont les commandes urgentes, les pannes de machines, l'imprécision dans les temps opératoires prévus et la rupture de stock.

Mckay [Mckay *et al.*, 1989] a identifié trois types d'aléas dans l'environnement industriel :

- les aléas complètement imprévisibles,
- les aléas soupçonnés,
- les aléas prévus avec des probabilités d'occurrence.

Par ailleurs, une revue de la littérature permet de distinguer cinq classes d'approches utilisées pour la prise en compte des perturbations dans l'ordonnancement :

- Les approches réactives : aucun ordonnancement prédictif n'est établi, les décisions sont prises en temps réel par exemple en utilisant des règles de priorités [Bhaskaran et Pinedo, 1991]. Ces approches permettent difficilement de prévoir la performance du système.
- Les approches prédictives/réactives : un ordonnancement prédictif est établi dans l'objectif d'optimiser l'une des performances du système ; il ne considère pas les perturbations. Cet ordonnancement est redéfini dès l'occurrence d'une perturbation [Artigues *et al.*, 2002] [Sadeh *et al.*, 1993] [Bean *et al.*, 1991] [Wu *et al.*, 1993] [Aloulou et Portmann, 2001].
- Les approches robustes : elles consistent à chercher un ordonnancement prédictif minimisant l'effet des perturbations sur la performance [Leon *et al.*, 1990] [Daniels et Kouvelis, 1995] [Rossi et Jacomino, 2002].
- Les approches basées sur les connaissances : elles fournissent un mécanisme de sélection d'une politique de réordonnancement parmi d'autres proposées [Smith, 1992] [Szelke et Kerr, 1994].
- Les approches basées sur la «prédictabilité» : elles ont pour objectif de minimiser l'écart entre l'ordonnancement prédictif et l'ordonnancement réalisé. Elles ne considèrent que le cas des perturbations prévues ; elles sont basées sur l'intersection de temps morts [Mehta et Uzsoy, 1999].

Ces différentes approches s'intéressent à la prise en compte de l'aléa dans l'ordonnancement. Parmi ces approches, celles qui peuvent permettre la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire sont les approches prédictives/réactives. En effet, l'ordonnancement prédictif des interventions doit être redéfini afin de pouvoir insérer une intervention urgente dans le programme opératoire.

Cependant, pour construire un système de pilotage, il est nécessaire, après avoir identifié les décisions et événements caractérisant le problème de pilotage en temps-réel, d'explicitier le modèle d'état retenu pour représenter le système de production considéré et son comportement dynamique et de préciser les informations pertinentes pour la prise en compte de l'aléa dans l'ordonnancement prédictif [Artigues *et al.*, 2002].

Dans cette étude, l'événement considéré est l'arrivée à un instant t_0 de la journée d'une demande de prise en charge d'un cas urgent dans le bloc opératoire. Nous traitons donc ici le cas d'une urgence externe. La décision recherchée concerne l'acceptation de cette demande ou sa réorientation vers un autre centre hospitalier. Cette décision dépend de l'état du système. Elle englobe également le réordonnancement des interventions qui n'ont pas encore commencé à l'instant t' prévu à l'arrivée de l'urgence (instant t_0 plus le temps de transport du cas urgent au service de chirurgie).

Pour la modélisation du bloc opératoire, nous proposons l'utilisation de l'outil réseaux de Petri. Afin de préciser les informations et données pertinentes concernant l'état du système, nous préconisons l'existence de système d'information temps-réel.

3.2. Modélisation du bloc opératoire

3.2.1. L'outil réseau de Petri (RdP)

Nous ne détaillons pas dans cette partie les concepts de base de l'outil réseaux de Petri. Néanmoins, dans l'annexe B, nous donnons une présentation formelle des RdPs et de leurs propriétés. Pour plus d'informations sur cet outil, nous dirigeons le lecteur vers les références suivantes, [Brams, 1983], [David et Alla, 1992], [Freedman, 1991], [Murata, 1989], [Silva et Teruel, 1997] [Sava, 2001].

D'autres références [Al Jaar et Desrochers, 1988] [David et Alla, 1994] [Silva et Valette, 1990] [Moore et Gupta, 1996] [Zurawski et Zhou, 1994] [Proth et Xie, 1995] [Limam, 1999] [Jebali *et al.*, 2002] [Jebali *et al.*, 2003a] dirigent également le lecteur vers des états de l'art sur les réseaux de Petri et leurs applications aux systèmes de productions manufacturiers et de services.

3.2.2. Choix de l'outil réseau de Petri T-temporel pour la modélisation du bloc opératoire

Le choix de l'outil réseau de Petri est motivé par sa nature : c'est un outil graphique et mathématique de modélisation et d'analyse très utilisé pour l'étude des Systèmes à Événements Discrets (SED). Cependant, le modèle RdP autonome n'offre que des possibilités d'analyse qualitative. Certaines extensions à ce modèle ont été ainsi proposées pour prendre en compte explicitement le passage du temps et permettre une analyse et une évaluation quantitative du système étudié [David et Alla, 1992]. Le modèle RdP T-temporel [Berthomieu et Diaz, 1991] a été dérivé du modèle RdP autonome en associant à chaque transition une contrainte temporelle sur la date de son franchissement. Son évolution est ainsi déterminée par un seul type d'événements : le franchissement des transitions.

Le choix de l'outil RdP T-temporel est donc justifié :

- d'une part, par sa capacité à représenter les principaux mécanismes dans les Systèmes à Événements Discrets complexes tels que les systèmes de production de soins (parallélisme, synchronisation, partage de ressources, aspect dynamique et aléas). En effet, nous reconnaissons ici des caractéristiques du bloc opératoire : partage de ressources lors de la réalisation des interventions, nécessité de synchronisation entre les ressources, aspect dynamique imposé par les temps opératoires et aléas survenant sur ces temps.
- d'autre part, cet outil permet de modéliser la plupart des contraintes temporelles intervenant dans le fonctionnement du bloc opératoire et offre des possibilités de modélisation des conflits.

3.2.3. Modélisation du bloc opératoire

L'objectif de la modélisation du bloc opératoire est de représenter les relations entre les états relatifs aux étapes et phases de réalisation des interventions et les ressources critiques.

Dans la figure 22, nous présentons les différentes étapes et phases d'une intervention ainsi que les différentes ressources qui y interviennent. Par rapport à la figure 20, nous avons représenté ici le cas où à la fin de l'acte chirurgical aucun lit de la SSPI n'est disponible. Le réveil du patient a donc lieu dans la salle d'opération jusqu'à la libération d'un lit en SSPI. Le réveil du patient dans la salle d'opération à cause de l'indisponibilité de lits en SSPI augmente le temps improductif du bloc opératoire et diminue sa rentabilité économique.

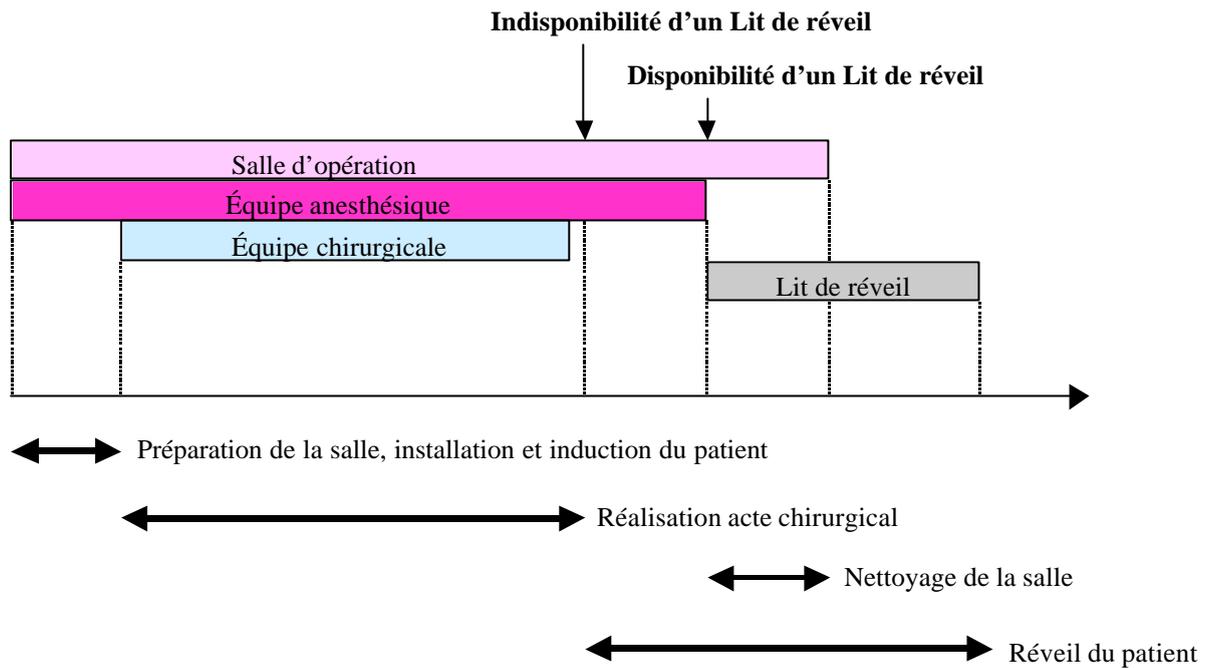


Figure 22 : Etapes et phases d'une intervention

Afin d'étudier la possibilité d'insertion d'une urgence dans le programme opératoire, nous proposons de modéliser le fonctionnement du bloc opératoire en supposant l'acceptation de cette urgence. Cette modélisation permettra de représenter les relations entre les états relatifs aux étapes et phases des interventions en cours de réalisation et les ressources critiques à l'instant d'arrivée du cas urgent au bloc opératoire. Ici, nous considérons comme ressources critiques : les salles d'opération, les chirurgiens et les lits en SSPI.

Nous donnons dans la figure 23 le modèle RdP T-temporel sans marquage de fonctionnement du bloc opératoire en supposant l'arrivée de l'urgence à l'instant t' . L'état du bloc opératoire à l'instant d'arrivée de l'urgence est défini en complétant le modèle RdP T-temporel par le marquage des places.

Par ailleurs, comme les interventions n'ont pas nécessairement les mêmes temps opératoires et que chaque intervention programmée est affectée à un chirurgien bien spécifié et peut nécessiter une salle d'opération particulière, il convient mieux d'utiliser un RdP T-temporel coloré. Pour des raisons de simplifications, nous n'avons pas représenté cet aspect dans le modèle de la figure 23. Néanmoins, nous en tenons compte lors de l'analyse de l'état du bloc opératoire à l'instant prévu à l'arrivée de l'urgence.

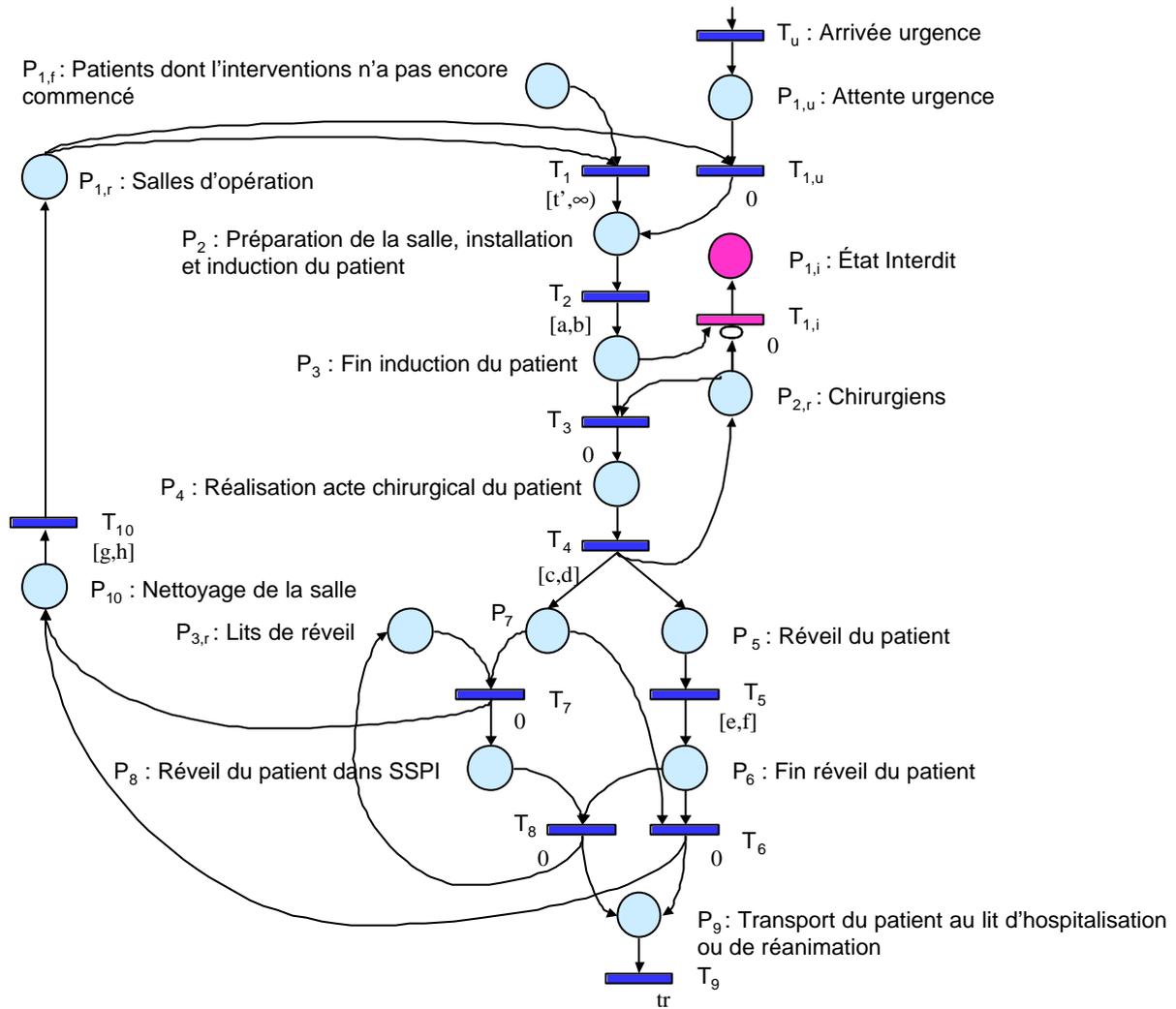


Figure 23 : Modèle RdP T-temporel de fonctionnement du bloc opératoire en supposant l'arrivée d'une urgence à l'instant t

Les différentes durées opératoires sont représentées par des intervalles de type $[\alpha, \beta]$ où α et β sont des nombres entiers (les différents temps opératoires sont exprimés en minutes). Ces intervalles englobent les durées des différentes interventions du programme opératoire. Par exemple, pour toutes les interventions, nous avons considéré que la durée prévisionnelle de l'acte chirurgical est comprise entre c et d minutes. Si l'intervention n'a pas encore commencé, ces durées (durée de préparation de la salle, d'installation et d'induction du patient, durée de l'acte chirurgical, durée de réveil, ...) sont les mêmes que celles considérées lors de la construction du programme opératoire prévisionnel. Pour une intervention en cours de réalisation, certaines de ces durées peuvent être réestimées en fonction de l'évolution de l'état du patient, notamment dans le cas d'une complication.

L'acceptation du patient urgent suppose qu'il est possible de l'opérer le jour même avant une heure donnée. Nous proposons ainsi, dans un premier temps, de déterminer l'instant de début au plus tôt de prise en charge du patient urgent en considérant uniquement les interventions en cours de réalisation. Les interventions qui n'ont pas encore commencé à l'instant t seront considérées dans une deuxième étape. Les transitions T_1 et $T_{1,u}$ sont deux transitions en conflit. La priorité est ainsi donnée à la transition $T_{1,u}$.

La validation de la transition T_3 n'est possible que dans les deux cas suivants :

- l'intervention est programmée à l'avance et le chirurgien affecté à celle-ci est disponible,
- l'intervention est urgente et au moins l'un des chirurgiens pouvant la réaliser est disponible.

Cependant, un patient ne peut être endormi que si l'on garantit la disponibilité du chirurgien qui va l'opérer juste après l'induction (également instant de début de la chirurgie). Désormais, l'indisponibilité du chirurgien juste après l'induction du patient est considérée comme un « état interdit ». Afin de garantir la disponibilité du chirurgien juste après l'induction du patient, nous proposons de faire appel au principe de la supervision.

3.2.4. Principe de la supervision

Le principe de la supervision d'un procédé est d'interdire l'occurrence de certains événements dans chacun de ses états et d'autoriser l'occurrence des autres par l'action d'un superviseur. Le schéma général du principe de la supervision est présenté dans la figure 24.

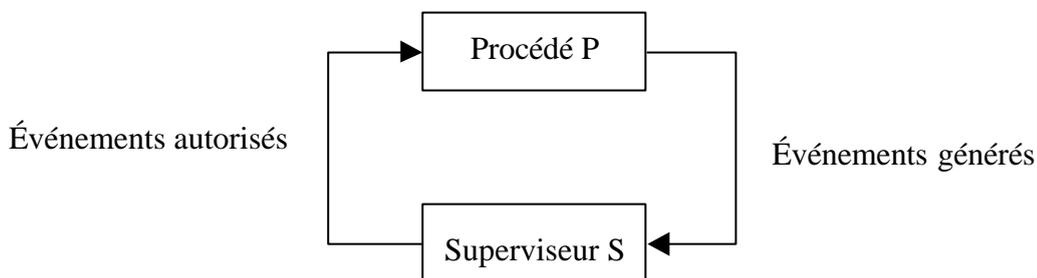


Figure 24 : Schéma du principe général de la supervision

Le superviseur observe le fonctionnement du procédé traduit sous forme d'une séquence d'événements. En réponse, il agit sur le comportement du procédé par l'intermédiaire des lois de contrôle qui définissent les événements autorisés depuis l'état courant du procédé.

Toutefois, un superviseur ne peut interdire l'occurrence que d'événements appelés contrôlables. Désormais, un événement est contrôlable si on peut fixer sa date d'occurrence dans un intervalle de temps donné. Par opposition, un événement est incontrôlable si on ne peut pas agir sur sa date d'exécution [Sava, 2001]. Ainsi, la décision ne porte que sur des événements contrôlables.

Dans le cas du fonctionnement du bloc opératoire, les événements contrôlables sont les débuts des interventions. Ce début correspond au début de préparation de la salle d'opération pour l'intervention.

La théorie de la supervision des Systèmes à Événements Discrets (SED) a été initiée par les travaux de Ramadge et Wonham [Ramadge et Wonham, 1987] [Ramadge et Wonham, 1989]. Cette théorie utilise le modèle automate et les langages formels [Hopcroft et Ullman, 1979] pour modéliser le comportement d'un SED ainsi que les spécifications imposées pour son fonctionnement.

Dans cette étude, nous ferons appel à l'idée générale de la supervision sans pour autant utiliser ses outils de modélisation. Ainsi, nous ne détaillons pas dans cette partie le principe de la supervision et les outils de modélisation qui lui ont été proposés. Cependant, pour avoir plus de détails sur le principe de la supervision ainsi que les approches qui ont été proposées pour l'analyse et la supervision des Systèmes à Événements Discrets Temporisés (SEDT), notamment celles basées sur l'outil automate, nous dirigeons le lecteur vers les références suivantes : [Sava, 2001], [Brandin et Wonham, 1994], [Alur et Dill, 1994], [Gouin, 1999], [Yovine, 1993].

Dans un premier travail [Jebali *et al.*, 2003a], nous avons proposé une extension aux travaux de [Sava, 2001] dans le cadre d'une démarche dont l'objectif est de permettre une affectation supervisée et optimale des ressources dans les systèmes de production de soins. L'objectif du superviseur est d'interdire l'indisponibilité d'une ressource au moment de son utilisation dans une opération de soins notamment dans le cas où cette indisponibilité peut exposer le patient à des risques. Les événements contrôlables sont les instants de début des opérations de soins.

Notre motivation par l'utilisation des travaux de [Sava, 2001] sur la synthèse de la commande par supervision était d'associer la capacité de modélisation de l'outil RdP T-temporel avec la puissance d'analyse de l'outil automate temporisé. En effet, les outils basés sur l'automate sont bien appropriés à l'analyse. Cependant, ces outils représentent difficilement, de façon explicite, certains mécanismes tels que le parallélisme et la synchronisation. Il serait ainsi intéressant de les utiliser comme outils d'analyse pour d'autres outils ayant la puissance de modélisation tels que les RdPs. La démarche proposée part du modèle RdP T-temporel représentant le système de production de soins. Elle comporte deux étapes :

- La première étape a comme objectif la supervision des décisions quant à l'affectation des ressources dans le système de production de soins. Elle consiste, dans un premier temps, à représenter le comportement du RdP T-temporel par l'outil automate temporisé. Les comportements non-désirés sont modélisés par des sommets interdits. Dans un deuxième temps, elle consiste à construire l'automate temporisé de supervision afin d'interdire l'évolution du système vers un état interdit. Il s'agit de calculer des nouvelles gardes pour les transitions de l'automate telles que les sommets interdits ne soient jamais atteints. Les passages RdP T-temporel, automate temporisé puis automate temporisé de supervision sont basés sur des algorithmes donnés dans [Sava, 2001].
- La deuxième étape a comme objectif la détermination de la stratégie d'affectation des ressources dans le système de production de soins qui minimise le délai de séjour moyen des patients. Dans un premier temps, elle consiste à transformer l'automate temporisé de supervision en un graphe valué. Dans un deuxième temps, elle consiste à déterminer la stratégie d'affectation optimale représentée par l'un des chemins du graphe valué. Le problème revient à un problème de recherche de plus court chemin dans un graphe valué.

Toutefois, le nombre de sommets de l'automate temporisé représentant le comportement du RdP T-temporel explose dès l'augmentation du nombre de ressources et du nombre de patients considérés par le système de production de soins et représentés dans le modèle RdP T-temporel par des jetons. Ainsi, il devient essentiel de prendre en considération cet aspect dans la démarche proposée aussitôt qu'on pense l'utiliser pour l'étude d'un système réel de soins (où un grand nombre de patients et de ressources existent).

Pour pallier à ce problème, nous avons pensé étendre cette démarche en traduisant l'action portée par l'automate temporisé de supervision sous forme d'un ensemble de règles à respecter dans l'affectation des ressources dans un système de soins. Dans [Jebali *et al.*, 2002], nous avons proposé d'aller vers une méthodologie pour la génération de règles d'affectation permettant de garantir la disponibilité d'une ressource au moment de son utilisation dans l'opération de soins. La génération de règles d'affectation est basée sur l'interprétation de l'action du superviseur et le principe de décomposition. Ainsi, nous commençons par construire des règles partielles qui seront ensuite généralisées pour devenir des règles globales. Les règles globales seules interdisent l'évolution du système de production de soins vers un état interdit.

Toutefois, la décomposition proposée réduit la complexité du problème de passage du RdP T-temporel à l'automate temporisé mais ne permet pas de l'éliminer. En effet, ce problème devient

plus simple lorsque nous considérons des marquages initiaux du RdP T-temporel avec un nombre de jetons plus faible.

L'automate temporisé correspondant au RdP T-temporel donne les différents chemins partant du sommet initial (chaque chemin présente une évolution du système) et permettant d'atteindre un sommet interdit. A chaque chemin correspond, dans l'automate temporisé de supervision, un type d'action. Un premier type consiste dans l'ajout de condition(s) supplémentaire(s) sur la garde d'une transition contrôlable. Un deuxième type d'action consiste dans la suppression de transition(s) et de sommet(s) du chemin (en dehors du sommet interdit) [Jebali *et al.*, 2002].

Par ailleurs, chaque chemin de l'automate temporisé correspondant au modèle RdP T-temporel représente un ordonnancement sur les ressources critiques considérées. En particulier, tout chemin joignant le sommet initial de l'automate temporisé correspondant au modèle RdP T-temporel et un sommet interdit représente un ordonnancement qui ne respecte pas la spécification du système de soins ainsi considérée. De là, nous avons pensé qu'il serait intéressant de pouvoir déterminer l'action apportée par le superviseur à partir d'une analyse de l'ordonnancement. L'objectif ici est d'éviter la complexité qui découle de l'utilisation de l'outil automate temporisé pour représenter le comportement du RdP T-temporel.

3.2.5. Action du superviseur à partir d'une analyse d'ordonnancements

Tout d'abord, nous allons préciser quelques notations que nous allons utiliser dans cette partie (voir figure 25).

Pour toute ressource $(R_k)_{1=k=K}$ intervenant dans une opération de soins $(O_u)_{1=u=U}$, nous désignons par $t_{k,u}$ la durée d'utilisation de la ressource R_k dans l'opération de soins O_u et par $c_{k,u}$ l'instant de son utilisation, compté à partir du début de l'opération de soins O_u . U indique le nombre total d'opérations de soins à réaliser par le système de soins et K le nombre total de ressources considérées. Pour toute opération de soins $(O_u)_{1=u=U}$, nous désignons par td_u l'instant de son début qui ne tient pas compte de l'action du superviseur.

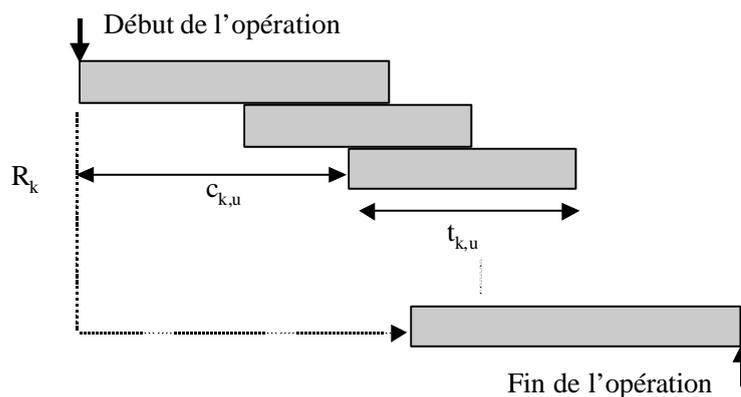


Figure 25 : Modélisation d'une opération de soins O_u

Considérons l'ordonnancement relatif à une ressource R_k donné par le diagramme de Gantt de la figure 26. La ressource R_k doit réaliser, dans l'ordre, les opérations de soins O_u , O_v et O_w . Cet ordonnancement est aussi donné par l'un des chemins de l'automate temporisé représentant le RdP T-temporel.

Par ailleurs, nous supposons que l'indisponibilité de la ressource R_k au moment de son intervention dans une opération de soins est un état indésirable du système de soins. Sans l'action d'un superviseur, l'ordonnancement ainsi considéré ne respecte pas nécessairement cette spécification concernant l'intervention de R_k dans une opération de soins.

Essayons d'interpréter l'action du superviseur. Prenons par exemple le cas de l'opération O_w . L'intervention de la ressource R_k dans l'opération O_w débute à l'instant $td_w+c_{k,w}$. La figure 26 montre que R_k est indisponible à $td_w+c_{k,w}$ à cause de son utilisation dans O_v . L'utilisation de R_k dans O_v à $td_w+c_{k,w}$ suppose donc que $td_v+c_{k,v} \leq td_w+c_{k,w}$. L'indisponibilité de R_k à $td_w+c_{k,w}$ est représentée au niveau de l'automate temporisé par un sommet interdit. L'action du superviseur consiste à redéfinir l'instant de début de l'opération de soins O_w qui permet de garantir la disponibilité de R_k à $td_w+c_{k,w}$.

Si O_v commence avant O_w (c'est à dire $td_v < td_w$), l'action du superviseur consiste à reporter le début de l'opération O_w à l'instant $td_w+\Delta t$. Il s'agit ici du premier type d'action du superviseur qui consiste dans l'ajout de condition(s) supplémentaire(s) sur la garde d'une transition contrôlable. Si, au contraire, O_w commence avant O_v (c'est à dire $td_w < td_v$) et $q_{k,w} \leq c_{k,v}+t_{k,v}$ alors l'action du superviseur consiste à interdire le début de l'opération O_v jusqu'à $td_w+c_{k,w}+t_{k,w}-c_{k,v}$. Dans ce cas, la ressource R_k ne va plus réaliser l'opération O_v avant l'opération O_w . Nous reconnaissons ici le deuxième type d'action du superviseur qui consiste dans la suppression de transition(s) et de sommet(s) du chemin (en dehors du sommet interdit) [Jebali *et al.*, 2002].

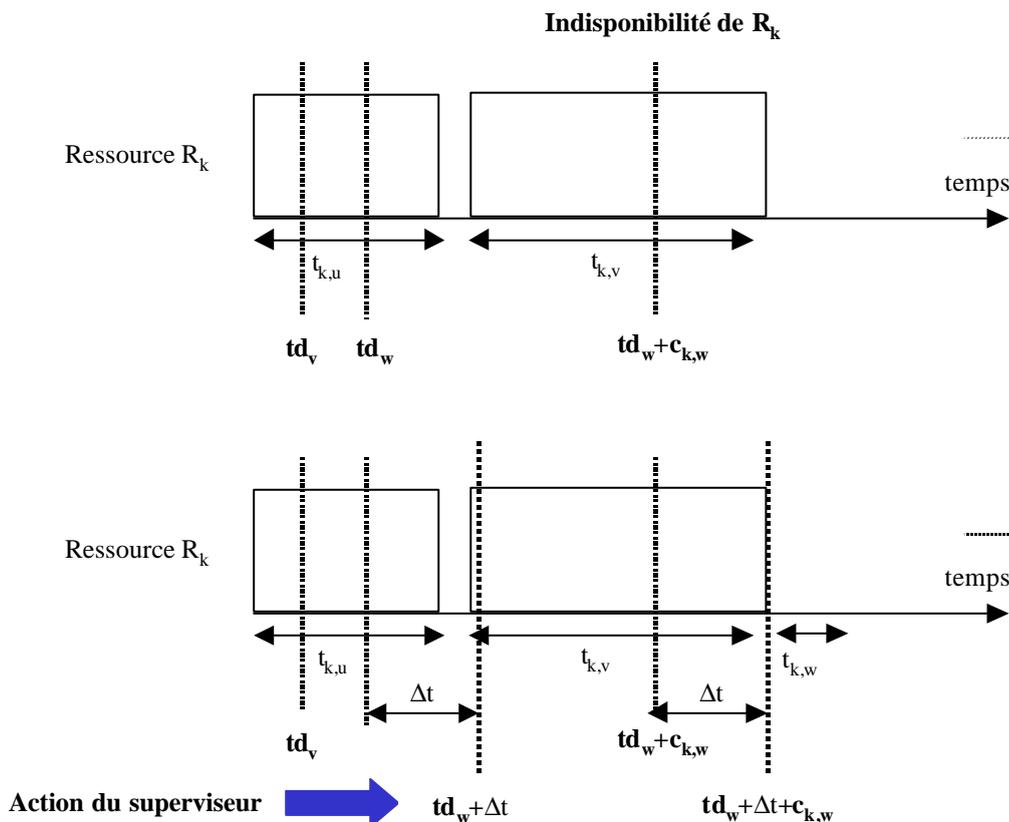


Figure 26 : Diagramme de Gantt relatif à l'ordonnancement d'une ressource R_k

Afin de garantir la disponibilité de la ressource R_k au moment de son intervention dans l'opération O_w , l'ordonnancement doit satisfaire la contrainte temporelle suivante (voir figure 27) :

$$td_v + c_{k,v} + t_{k,v} \leq td_w + c_{k,w} \quad (97)$$

L'indisponibilité d'une ressource au moment de son intervention dans une opération de soins est toujours expliquée par son utilisation dans une autre opération concurrente ou par son absence. Néanmoins, ce dernier cas n'est pas considéré ici puisque nous tenons compte uniquement des ressources présentes dans le système de production de soins. Ainsi, la contrainte temporelle (97) n'est pas spécifique à l'exemple considéré puisqu'elle permet de garantir la disponibilité de toute ressource au moment de son intervention dans une opération de soins connaissant l'ordre des opérations qu'elle doit réaliser.

L'action du superviseur consiste donc à assurer la satisfaction de cette contrainte. La contrainte (97) peut être réécrite comme suit :

$$td_v + [c_{k,v} + t_{k,v} - c_{k,w}] \leq td_w \quad (98)$$

L'action du superviseur paraît dépendre uniquement de la position relative des instants de début respectifs des deux opérations O_v et O_w , td_v et td_w . En effet, les variables du problème sont les instants de début des opérations (le début d'une intervention est un événement contrôlable) et le terme $[c_{k,v} + t_{k,v} - c_{k,w}]$ est un terme fixe.

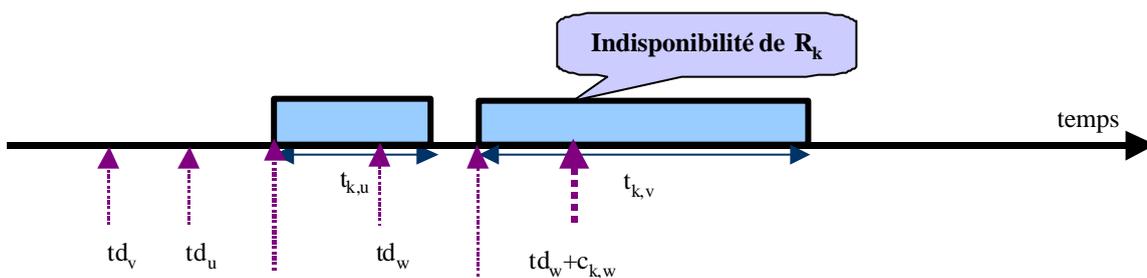


Figure 27 : Analyse temporelle d'un ordonnancement donnant un état interdit

Nous proposons de déterminer l'action du superviseur en fonction de la position relative des instants de début des opérations O_v et O_w et de la valeur du terme $[c_{k,v} + t_{k,v} - c_{k,w}]$. Dans le tableau 16, nous présentons l'action du superviseur associée à chaque scénario possible.

	$td_v \leq td_w$	$td_w < td_v$
$[c_{k,v} + t_{k,v} - c_{k,w}] \leq 0$	(93) est toujours satisfaite Scénario I	(93) peut être satisfaite avec l'ajout de condition supplémentaire Scénario II
$[c_{k,v} + t_{k,v} - c_{k,w}] > 0$	(93) peut être satisfaite avec l'ajout de condition supplémentaire Scénario III	(93) ne peut jamais être satisfaite Scénario IV

Tableau 16 : Actions du superviseur

Il existe quatre scénarios possibles. A chaque scénario, en se basant sur la contrainte (98), nous pouvons retrouver l'action du superviseur correspondante. Pour le scénario I, aucune action du superviseur n'est nécessaire puisque la contrainte (98) est toujours vérifiée. Pour le scénario IV, l'action du superviseur consiste dans la suppression de transition(s) et de sommet(s) afin d'interdire le début de l'opération O_v si l'opération O_w a déjà commencé. Pour les scénarios II et III, l'action du superviseur consiste dans l'ajout d'une condition supplémentaire. Il s'agit soit d'autoriser le début de l'opération O_w à partir de l'instant $td_v + [c_{k,v} + t_{k,v} - c_{k,w}]$ (cas du scénario III) ; soit de commencer l'opération O_v avant l'instant $td_w - [c_{k,v} + t_{k,v} - c_{k,w}]$ (cas du scénario II).

Ainsi, nous pouvons construire un superviseur sans avoir recours à l'outil automate temporel, au moins dans le cas particulier d'un système de production de soins où chaque opération de soins utilise au plus une ressource dont l'indisponibilité au moment de son intervention peut exposer le patient à des risques. Dans ce qui suit, nous présentons une approche pour la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire qui fait appel à un superviseur construit à partir d'une analyse de l'ordonnancement.

3.3. Description de l'approche

A l'arrivée de l'urgence, il existe des interventions qui ont été déjà réalisées, d'autres qui sont en cours de réalisation et d'autres qui n'ont pas encore commencé.

L'approche que nous proposons pour la prise en compte de l'urgence comporte deux étapes :

- La première étape consiste à étudier la possibilité d'introduire l'urgence en tenant compte uniquement des interventions en cours de réalisation et de la contrainte d'heure limite avant laquelle celle-ci doit commencer. Cette étape est fondée sur le principe de supervision. L'acceptation de l'urgence dépend essentiellement de l'action du superviseur. Elle dépend également de la disponibilité de lits d'hospitalisation et de réanimation nécessaires au processus de soins que doit suivre le patient venant en urgence. Si à ce niveau il s'avère possible d'accepter l'urgence, il faut passer à la deuxième étape. Cette première étape sera décrite dans la partie suivante (la partie 3.3.1) sous forme d'un algorithme.
- La deuxième étape consiste, tout d'abord, à chercher un réordonnancement des interventions restantes y compris l'intervention du patient venant en urgence. L'objectif du réordonnancement consiste à minimiser les coûts. En ayant recours à la modélisation mathématique, nous avons obtenu un programme linéaire à variables mixtes de réordonnancement. Si le résultat du réordonnancement indique la nécessité de reporter des interventions pour permettre l'insertion de l'intervention urgente alors il faut aussi garantir au moins un lit d'hospitalisation pour chaque patient dont l'intervention sera reportée.

3.3.1. Action du superviseur

A première vue, l'acceptation du patient urgent u consiste à trouver une salle d'opération dans laquelle il est possible de l'opérer avant t_u . Désormais, t_u désigne l'heure limite avant laquelle l'intervention du patient u doit commencer. Toutefois, la disponibilité d'une salle d'opération n'est pas une condition suffisante puisqu'un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles durant une journée. Il faut aussi garantir la disponibilité d'un chirurgien pouvant réaliser l'intervention juste après l'induction du patient. L'indisponibilité d'un chirurgien est un état interdit du bloc opératoire puisqu'il peut exposer le patient à des risques (Cf. partie 3.2.3). Nous proposons ainsi d'avoir recours à un superviseur dans l'objectif de définir l'instant de début au plus tôt pt_u de l'intervention du patient urgent u .

Nous soulignons que dans toute la suite, une intervention désignera l'intervention d'un patient bien particulier. Ainsi, le même indice sera utilisé pour désigner à la fois le patient et l'intervention de ce patient.

L'instant pt_u est défini ici en tenant compte uniquement des interventions en cours de réalisation. C'est au niveau de la deuxième étape que les interventions restantes seront prises en compte. Par ailleurs, grâce à l'utilisation du superviseur, pt_u assure la disponibilité d'un chirurgien pouvant réaliser l'intervention u à l'instant de fin d'induction du patient urgent. Si $pt_u \geq t_u$ alors il est impossible d'accepter l'urgence sinon il faut passer à l'étape de réordonnancement.

3.3.1.1. Notations

Nous faisons appel, dans la description de l'algorithme de détermination de l'instant au plus tôt de prise en charge de l'urgence en tenant compte uniquement des interventions en cours de réalisation, aux notations suivantes :

t' : instant prévu à l'arrivée du patient u venant en urgence,

S' : ensemble des salles d'opération où l'intervention u peut être réalisée,

L' : ensemble des chirurgiens pouvant réaliser l'intervention u ,

t_i : heure limite de début de l'intervention du patient i (le patient i peut être le patient u arrivant en urgence),

p_i^1 : durée de réalisation de l'acte chirurgical de l'intervention i (en minutes),

pre_i^1 : durée de préparation de la salle d'opération et du patient i pour l'intervention (en minutes),

pt_u : instant de début au plus tôt de l'intervention u en considérant uniquement les interventions en cours de réalisation,

t_i^1 : instant de début de l'intervention i au bloc opératoire (début de préparation d'une salle pour l'intervention i).

Dans la partie 3.2.5, en connaissant le chirurgien p chargée de la réalisation de l'intervention u , pre_u^1 , p_u^1 et t_u^1 ont été respectivement désignées par $c_{p,u}$, $t_{p,u}$ et td_u ²⁹. L'opération de soins considérée ici est l'intervention u . La ressource dont l'indisponibilité représente un état interdit est le chirurgien.

3.3.1.2. Algorithme

Pas 1 : Vérification de la disponibilité en lits d'hospitalisation et de réanimation

- Si la disponibilité en lit d'hospitalisation et de réanimation permet la prise en charge du patient u alors aller au pas 2.
- Sinon, il est impossible d'accepter l'urgence u , aller au pas 3.

Pas 2 : Vérification de la possibilité de début de l'intervention u avant t_u

- Pour $m \in S'$, déterminer dS_m instant de disponibilité de la salle d'opération m à partir de l'instant t' .
- Pour $p \in L'$

²⁹ Les notations pre_i^1 , p_i^1 et t_i^1 sont identiques à celles qui ont été utilisées dans le chapitre 4.

- déterminer, si elle existe, l'intervention v , dernière intervention à réaliser ou réalisée par le chirurgien p , qui a déjà commencé à l'instant t' (dans le cas où le chirurgien p est en train de réaliser une intervention, mais qu'il y a une autre intervention qui a commencé et qui sera elle aussi réalisée par le chirurgien p , considérer la deuxième intervention ; dans le cas où le chirurgien est disponible à l'instant t' et que l'intervention suivante qu'il va réaliser n'a pas encore commencé, considérer la dernière intervention qu'il a déjà réalisée)
- déterminer l'instant de début au plus tôt de l'intervention u , $pt_{p,u}$, si elle sera réalisée par le chirurgien p , en supposant la disponibilité d'une salle d'opération :
 - s'il existe une intervention v , alors :

$$pt_{p,u} = \text{Max}(t'_v + [pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1], t') = \text{Max}(td_v + [c_{p,v} + t_{p,v} - c_{p,u}], t')$$

- sinon, $pt_{p,u} = t'$

- Déterminer pt_u l'instant de début au plus tôt de l'intervention u en tenant compte uniquement des interventions en cours de réalisation à l'instant prévu à l'arrivée de l'urgence :

$$pt_u = \text{Max} \left(\underset{m \in S'}{\text{Min}} dS_m, \underset{p \in L'}{\text{Min}} pt_{p,u} \right)$$

- Si $pt_u \geq t_u$ alors il est impossible d'accepter l'urgence, aller au pas 3
- Sinon, passer à l'étape de réordonnement

Pas 3 : Fin

Proposition 1

L'instant de début au plus tôt de l'intervention u , si elle sera réalisée par le chirurgien p , en supposant la disponibilité d'une salle d'opération, est :

- $pt_{p,u} = \text{Max}(t'_v + [pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1], t') = \text{Max}(td_v + [c_{p,v} + t_{p,v} - c_{p,u}], t')$ si au moins l'une des interventions à la charge du chirurgien p a déjà débuté à l'instant d'arrivée prévu de l'urgence (instant t') ; l'intervention v étant la dernière intervention à réaliser ou réalisée par le chirurgien p , qui a déjà commencé à l'instant t' .
- $pt_{p,u} = t'$ sinon.

Preuve

Considérons un chirurgien p pouvant réaliser l'intervention u . Supposons qu'à l'instant t' , le chirurgien p soit en cours d'intervention v et que la prochaine intervention qu'il va réaliser n'ait pas encore commencé ou qu'il va réaliser une intervention v qui a déjà commencé.

D'après le tableau 16, deux scénarios peuvent se présenter :

- Scénario (1) : $[pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1] \leq 0$:

Dans ce premier cas, l'intervention u peut commencer dès l'arrivée du patient u au bloc opératoire (prévue à l'instant t') puisque $t'_v + [pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1] \leq t'_v \leq t'$.

- Scénario (2) : $[pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1] > 0$:

Dans ce deuxième cas, l'intervention u peut commencer à partir de l'instant t vérifiant la condition :

$$t \geq t_v^1 + [pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1] .$$

Comme nous cherchons à déterminer la date au plus tôt de début de l'intervention u en supposant qu'elle sera réalisée par le chirurgien p et qu'une salle d'opération est disponible alors :

$$pt_{p,u} = \text{Max}(\text{Min } t / t \geq t_v^1 + [pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1], t') = \text{Max}(t_v^1 + [pre_v^1 + p_v^1 - pre_u^1], t') .$$

Par ailleurs, si à l'instant t' aucune intervention à réaliser par le chirurgien p n'a déjà commencé (toutes les interventions à réaliser par le chirurgien p commencent après l'instant t') alors le chirurgien p, sans considérer les interventions restantes, est disponible à $t' + pre_u^1$ et donc $pt_{p,u} = t'$.

Proposition 2

L'instant pt_u de début au plus tôt de l'intervention, en tenant compte uniquement des interventions en cours de réalisation à l'instant t' prévu à l'arrivée de l'urgence, est :

$$pt_u = \text{Max} \left(\underset{m \in S'}{\text{Min}} dS_m, \underset{p \in L'}{\text{Min}} pt_{p,u} \right)$$

Preuve :

Considérons ici uniquement les interventions en cours de réalisation à l'instant t' prévu de l'arrivée de l'urgence. L'instant de début au plus tôt de l'intervention u est celui où il existe une salle d'opération disponible et un chirurgien disponible dès la fin d'induction du patient.

$\underset{m \in S'}{\text{Min}} dS_m$ désigne l'instant au plus tôt où une salle d'opération de S' devient libre. C'est aussi l'instant de début au plus tôt de l'intervention u si nous supposons la disponibilité d'un chirurgien de L' à la fin de l'induction.

$\underset{p \in L'}{\text{Min}} pt_{p,u}$ désigne l'instant au plus tôt où un chirurgien de L' devient disponible (il s'agit du chirurgien l / $pt_{l,u} = \underset{p \in L'}{\text{Min}} pt_{p,u}$). C'est aussi l'instant de début au plus tôt de l'intervention u si nous supposons la disponibilité d'une salle d'opération de S'.

D'où : $pt_u = \text{Max} \left(\underset{m \in S'}{\text{Min}} dS_m, \underset{p \in L'}{\text{Min}} pt_{p,u} \right)$.

3.3.2. Modèle mathématique de réordonnement

Le réordonnement des interventions restantes (les interventions qui n'ont pas encore commencé à l'instant d'arrivée de l'urgence ainsi que l'intervention urgente u) tient compte des hypothèses présentées vers la fin de la partie 2 de ce chapitre. Ainsi, nous considérons ici un réordonnement des interventions restantes centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI ». Le résultat du réordonnement ainsi que la disponibilité en lits d'hospitalisation et de réanimation permettront de décider définitivement quant à l'acceptation ou à l'impossibilité de prise en charge du patient urgent u.

3.3.2.1. Notations

Nous faisons appel, dans la description du modèle mathématique de réordonnancement, aux données suivantes :

t' : instant prévu à l'arrivée du patient u venant en urgence,

N_r : nombre d'interventions restantes,

S : nombre de salles d'opération,

L : nombre de chirurgiens,

L_r : nombre de lits de réveil,

Op : instant d'ouverture du bloc opératoire,

M : constante de grande valeur,

M' : constante de grande valeur,

C_h : coût d'un jour d'hospitalisation (en euros),

C_o : coût d'une minute d'ouverture du bloc opératoire pendant les heures supplémentaires (en euros),

p_i^1 : durée de réalisation de l'acte chirurgical de l'intervention i (en minutes),

pre_i^1 : durée de préparation de la salle d'opération et du patient (elle comprend la durée d'installation du patient dans la salle ainsi que la durée d'induction) pour l'intervention i (en minutes),

n_i^1 : durée de nettoyage de la salle pour l'intervention i (en minutes),

d_i^1 : durée d'occupation de la salle d'opération pour l'intervention i ($d_i^1 = p_i^1 + pre_i^1 + n_i^1$),

p_i^2 : durée de réveil du patient i (en minutes),

t_i : heure limite de début de l'intervention du patient i (si l'intervention i n'est pas urgente, et peut être reportée, une grande valeur M' est attribuée à t_i),

$\mu_{i,m} = 1$ si l'intervention i peut être réalisée dans la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

$\eta_{i,p} = 1$ si le chirurgien p peut réaliser l'intervention i , $= 0$ sinon (si nous connaissons le chirurgien p qui va réaliser l'intervention i alors $\eta_{i,p} = 1$ et $\eta_{i,l} = 0 \forall l \in [1..L] \setminus \{p\}$),

C_m : durée régulière d'ouverture de la salle d'opération m (en minutes),

K_m : durée d'ouverture supplémentaire de la salle d'opération m (en minutes),

dS_m : instant de disponibilité de la salle d'opération m déterminé à l'instant t' ,

dC_p : instant de disponibilité du chirurgien p déterminé à l'instant t' ,

dL_k : instant de disponibilité du lit de réveil k déterminé à l'instant t' ,

B_p : instant à partir duquel le chirurgien p devient indisponible.

La solution cherchée sera décrite au moyen des :

La solution cherchée sera décrite au moyen des :

- variables entières (0-1) suivantes :

$x_{i,m} = 1$ si nous affectons le patient i à la salle d'opération m , $= 0$ sinon,

$y_{i,p} = 1$ si l'intervention i est affectée au chirurgien p , $= 0$ sinon,

$f_{k,i} = 1$ si nous affectons le patient i au lit de réveil k , $= 0$ sinon,

$q_{i,j} = 1$ si l'intervention i commence avant l'intervention j au niveau des salles d'opération (premier étage), $= 0$ sinon,

$p_{i,j} = 1$ si l'intervention i commence avant l'intervention j en SSPI (deuxième étage), $= 0$ sinon.

- variables réelles positives suivantes :

t_i^1 : instant de début de l'intervention i au bloc opératoire (début de préparation d'une salle pour l'intervention i),

t_i^2 : instant de début de l'intervention i en SSPI (instant de transfert du patient en un lit de la SSPI),

a_i^1 : durée de réveil du patient i dans la salle d'opération,

H_m : variable indiquant l'heure de fermeture de la salle d'opération m dans le cas de dépassement des heures régulières,

Y_m : variable indiquant le dépassement des heures régulières dans la salle d'opération m .

3.3.2.2. Le modèle de réordonnancement

$$(PL7) \text{ Min } \sum_{i=1}^{N_r} (1 - \sum_{m=1}^S x_{i,m}) \cdot C_h + \sum_{m=1}^S C_o \cdot Y_m \quad (99)$$

Sous les contraintes :

$$t_j^1 + pre_j^1 \geq (t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1) - M(3 - q_{i,j} - y_{i,p} - y_{j,p}), \forall i, j \in [1..N_r] / i \neq j, \forall p \in [1..L] \quad (100)$$

$$t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1 - M'(1 - y_{i,p}) \leq B_p + (M' + pre_i^1 + p_i^1) \cdot (1 - \sum_{m=1}^S x_{i,m}), \forall i \in [1..N_r], \forall p \in [1..L] \quad (101)$$

$$t_i^1 + pre_i^1 \geq y_{i,p} \cdot dC_p, \forall i \in [1..N_r], \forall p \in [1..L] \quad (102)$$

$$t_j^1 \geq (t_i^1 + d_i^1 + a_i^1) - M(3 - q_{i,j} - x_{i,m} - x_{j,m}), \forall i, j \in [1..N_r] / i \neq j, \forall m \in [1..S] \quad (103)$$

$$x_{i,m} \leq m_{i,m}, \forall i \in [1..N_r], \forall m \in [1..S] \quad (104)$$

$$t_j^2 \geq (t_i^2 + p_i^2 - a_i^1) - M(3 - p_{i,j} - f_{k,i} - f_{k,j}), \forall i, j \in [1..N_r] / i \neq j, \forall k \in [1..L_r] \quad (105)$$

$$q_{i,j} + q_{j,i} = 1, \forall i, j \in [1..N_r] / i > j \quad (106)$$

$$p_{i,j} + p_{j,i} = 1, \forall i, j \in [1..N_r] / i > j \quad (107)$$

$$t_j^1 \geq t_i^1 - M(1 - q_{i,j}), \forall i, j \in [1..N_r] / i \neq j \quad (108)$$

$$t_j^2 \geq t_i^2 - M(1 - p_{i,j}), \forall i, j \in [1..N_r] / i \neq j \quad (109)$$

$$t_i^2 = (t_i^1 + pre_i^1 + p_i^1 + a_i^1), \forall i \in [1..N_r] \quad (110)$$

$$a_i^1 \leq p_i^2, \forall i \in [1..N_r] \quad (111)$$

$$H_m \geq t_i^2 + n_i^1 - M(1 - x_{i,m}), \forall i \in [1..N_r], \forall m \in [1..S] \quad (112)$$

$$H_m \geq dS_m, \forall m \in [1..S] \quad (113)$$

$$Y_m \geq H_m - (C_m + Op), \forall m \in [1..S] \quad (114)$$

$$Y_m \geq 0, \forall m \in [1..S] \quad (115)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} = 1, \forall i \in [1..N_r] / t_i \leq \underset{m \in [1..S]}{\text{Max}} (Op + C_m + K_m) \quad (116)$$

$$\sum_{m=1}^S x_{i,m} \leq 1, \forall i \in [1..N_r] / t_i > \underset{m \in [1..S]}{\text{Max}} (Op + C_m + K_m) \quad (117)$$

$$\sum_{k=1}^K f_{k,i} = 1, \forall i \in [1..N_r] \quad (118)$$

$$y_{i,p} \leq h_{i,p}, \forall i \in [1..N_r], \forall p \in [1..L] \quad (119)$$

$$\sum_{p=1}^L y_{i,p}=1, \forall i \in [1..N_r] \quad (120)$$

$$t_i^1 \geq dS_m - M(1 - x_{i,m}), \forall i \in [1..N_r], \forall m \in [1..S] \quad (121)$$

$$t_i^1 \leq t_i, \forall i \in [1..N_r] \quad (122)$$

$$t_i^1 \leq (Op + C_m + K_m - d_i^1) + M(1 - \sum_{m=1}^S x_{i,m}), \forall i \in [1..N_r], \forall m \in [1..S] \quad (123)$$

$$t_i^1 \geq M(1 - \sum_{m=1}^S x_{i,m}), \forall i \in [1..N_r] \quad (124)$$

$$t_i^2 \geq dL_k - M(1 - f_{k,i}), \forall i \in [1..N_r], \forall k \in [1..L_r] \quad (125)$$

$$x_{i,m}, f_{k,i}, y_{i,p}, q_{i,j}, p_{i,j} \in \{0,1\}, \forall m \in [1..S], \forall k \in [1..L_r], \forall p \in [1..L], \forall i, j \in [1..N_r] \quad (126)$$

$$a_i^1 \geq 0, \forall i \in [1..N_r] \quad (127)$$

La fonction objectif (99) permet de minimiser le coût engendré par l'insertion de l'urgence. Le premier terme de cette fonction exprime le coût que représente le report d'une intervention en supposant que toute intervention reportée pourra être réalisée le jour suivant. Le deuxième terme exprime le coût d'une utilisation du bloc opératoire en dehors des heures régulières.

Les contraintes (100) assurent qu'un chirurgien ne peut pas opérer plus d'un patient en même temps. Les contraintes (101) et (102) permettent de respecter la disponibilité des chirurgiens. Les contraintes (103) assurent qu'une salle d'opération ne peut pas être occupée par plus d'un patient. Les contraintes (104) permettent de réaliser l'intervention dans la salle d'opération où les équipements nécessaires sont disponibles. Les contraintes (105) interdisent qu'un lit de la SSPI soit occupé par plus d'un patient. Les contraintes (106), (107), (116), (117), (118), (120) et (126) sont des contraintes d'intégrité. Les contraintes (116) et (117) assurent qu'une intervention est affectée au plus à une seule salle d'opération. Les contraintes (118) assurent qu'une intervention est affectée à un seul lit de la SSPI. Les contraintes (120) assurent qu'une intervention est réalisée par un seul chirurgien. Ce chirurgien doit avoir l'expérience nécessaire à la réalisation de cette intervention (119). Toutefois les familles de contraintes (119) et (120) deviennent inutiles lorsque nous connaissons, pour chaque intervention urgente, le chirurgien qui va la réaliser.

Les contraintes (108) et (109) imposent que l'instant de début d'une intervention soit supérieur à l'instant de début de toute intervention qui la précède. Les contraintes (110) expriment le lien entre l'ordonnancement des interventions sur les salles d'opération et celui sur les lits de la SSPI. Les contraintes (127) et (111) assurent respectivement que la durée de réveil du patient dans la salle d'opération est positive ou nulle et est inférieure à la durée globale de réveil.

L'association des contraintes (112), (113), (114) et (115) avec la fonction objectif permet à la variable H_m de prendre la valeur de l'instant de fermeture de la salle d'opération m en cas de son utilisation pendant les heures supplémentaires et à la variable Y_m de prendre la valeur du temps d'ouverture de la salle m pendant les heures supplémentaires.

Une intervention affectée à la salle d'opération m ne peut pas commencer avant l'instant de disponibilité de celle-ci (121). Les contraintes (122) permettent le respect de l'heure limite de début d'une intervention urgente. Les contraintes (123) assurent que toute intervention non reportée sera réalisée pendant les heures d'ouverture du bloc opératoire permises par la législation. Pour une intervention reportée (qui n'a pas été affectée à une salle d'opération), les contraintes (122) et (124)

permettent d'attribuer la valeur M' à l'instant de début de celle-ci (nous rappelons que pour une intervention i qui n'est pas urgente, et peut être reportée, nous attribuons à t_i la valeur de M'). Les contraintes (125) assurent que le réveil en SSPI d'un patient dont l'intervention a été affectée au lit de réveil k ne peut pas commencer avant l'instant de disponibilité de ce dernier.

3.3.2.3. Exploitation des résultats du réordonnement

Trois types de résultats peuvent être obtenus suite à la résolution du programme linéaire de réordonnement (PL7) :

- Aucune solution réalisable n'est obtenue : il n'est pas possible dans ce cas d'accepter l'urgence. Ce cas peut être rencontré lorsque l'instant prévu à l'arrivée de l'urgence est très proche des heures de fermeture du bloc opératoire exigées par la législation ou s'il existe d'autres patients urgents qui ont été déjà admis.
- Obtention d'une solution sans report d'interventions : il s'agit du cas espéré ; l'urgence peut être acceptée sans reporter d'interventions programmées.
- Obtention d'une solution avec report d'interventions : l'acceptation de l'urgence dépend ici de la disponibilité en lits d'hospitalisation. En effet, il faut garantir un lit d'hospitalisation pour chaque patient dont l'intervention va être reportée. Néanmoins, comme à ce niveau la programmation de toute intervention reportée pour le jour suivant est hypothétique, il faudrait garantir un lit d'hospitalisation pour chaque patient dont l'intervention va être reportée durant les jours restants de l'horizon de décision.

3.4. Autres utilisations possibles de l'approche

Nous avons présenté une approche pour la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire. Cette approche peut être également adaptée pour la prise en compte d'autres types d'aléas qui peuvent survenir au bloc opératoire telle que l'incertitude dans la prévision des temps opératoires.

Par exemple, une partie de la première étape de cette approche peut être exploitée pour superviser le déroulement du programme opératoire prévisionnel. En effet, le programme opératoire prévisionnel utilise des durées prévisionnelles. Si, en temps-réel, ces durées opératoires sont corrigées alors il est important de tenir compte de ces modifications dans ce qui reste à réaliser dans le programme opératoire. Ainsi, il semble important de recalculer les dates de début des interventions restantes afin de garantir la disponibilité du chirurgien à la fin d'induction du patient.

Par ailleurs, il serait intéressant d'adopter l'idée proposée par Marcon [Marcon *et al.*, 2001a] concernant l'exploitation d'un indicateur pour suivre en temps-réel la réalisation du programme opératoire. A certains instants donnés de la journée, nous proposons ainsi d'estimer l'état d'avancement du programme opératoire prévisionnel A_{prev} (en se référant au dernier programme opératoire prévisionnel établi) et celui observé en réalité $A_{réel}$. Si l'écart entre ces deux indicateurs est important (par exemple $\frac{|A_{réel} - A_{prev}|}{A_{prev}} \geq 20\%$) alors nous recommandons de réordonner les interventions restantes en utilisant le programme linéaire (PL7).

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une approche pour la prise en compte de l'urgence au bloc opératoire. Cette approche comporte deux étapes. La première étape consiste à étudier la possibilité d'insérer l'urgence en tenant compte uniquement des interventions en cours de réalisation et de la

contrainte d'heure limite avant laquelle celle-ci doit commencer. Elle utilise le principe de supervision. La deuxième étape consiste à chercher un réordonnement des interventions restantes. En ayant recours à la modélisation mathématique, ce problème a été modélisé sous forme d'un programme linéaire à variables mixtes.

Par ailleurs, nous avons montré que cette approche peut être adaptée pour la prise en compte d'autres types d'aléas qui peuvent survenir au bloc telle que l'incertitude dans l'estimation des durées opératoires. Une expérimentation de cette approche sera présentée au chapitre suivant, dans le cadre d'une validation de l'approche globale proposée dans cette étude. L'objectif de cette expérimentation est d'illustrer l'utilisation coordonnée des différents niveaux décisionnels proposés.

Chapitre 6 : Validation de l'approche proposée

Ce chapitre sera consacré à la validation de notre approche à travers une utilisation enchaînée des différents modèles et algorithmes proposés.

1. Introduction

Dans cette étude, nous avons présenté une approche par processus pour l'aide à la planification, l'affectation et l'ordonnancement des ressources dans les systèmes de soins. Cette approche est particulièrement illustrée dans les cas de processus de soins passant par un service de chirurgie et qui représentent une partie importante des cas d'hospitalisation. Le coût que représente le bloc opératoire et les attentes qu'il génère justifient également ce choix.

Notre approche a porté principalement sur quatre niveaux hiérarchiques de la décision :

- Une planification des admissions : elle consiste à préciser au patient une date d'hospitalisation, dès que chirurgien et médecin anesthésiste/réanimateur se prononcent sur la nécessité d'une intervention chirurgicale. Cette date est fournie au patient en fin de consultation.
- Une construction du programme opératoire sur un horizon de 8 jours : il s'agit de fixer les interventions à réaliser durant chaque jour, sur l'horizon de 8 jours, ainsi que les ressources qui seront employées. Ce programme opératoire permet de confirmer les admissions.
- Une construction du programme opératoire journalier : l'objectif est de mettre à jour le programme opératoire établi sur l'horizon de 8 jours en intégrant les différents aléas qui peuvent se produire tels que le report d'interventions à cause de la prise en compte de cas urgents.
- Un pilotage temp-réel du bloc opératoire : nous nous sommes intéressés ici particulièrement à la possibilité d'accepter un patient venant en urgence et dont l'état nécessite une prise en charge au bloc opératoire durant la journée, avant une heure donnée.

Différentes méthodes d'aide à la décision ont été proposées. Ces méthodes reposent principalement sur l'utilisation de programmes linéaires ou d'algorithmes qui ont été déjà validés d'une façon indépendante (excepté le modèle de réordonnancement (PL7)). Dans ce chapitre, nous proposons d'expérimenter ces différentes méthodes dans le cadre d'une validation de l'approche globale ainsi proposée. L'objectif de cette expérimentation est d'illustrer l'utilisation enchaînée des différents modèles et algorithmes proposés selon la hiérarchie des quatre niveaux décisionnels.

Dans un premier temps, nous présentons l'exemple pseudo-réel que nous allons utiliser dans cette expérimentation. Nous exposons ensuite les différents résultats expérimentaux obtenus.

2. Exemple d'application

2.1. Description

Afin de valider l'approche proposée, nous avons considéré l'exemple d'un système de soins comportant 35 lits d'hospitalisation, 8 lits de réanimation et un bloc opératoire composé de 3 salles d'opération. La SSPI est équipée de 4 lits de réveil. Pendant les cinq jours ouvrables de la semaine (Lundi (L), Mardi (M), Mercredi (M), Jeudi (J) et Vendredi (V)), la durée d'ouverture de chaque salle d'opération, en heures régulières, est de 480 minutes par jour et, en heures supplémentaires, est limitée à 240 minutes. Quatre chirurgiens opèrent dans le bloc. Les temps de travail maximaux en minutes des chirurgiens (indexés par p) pendant chaque jour ouvrable t ($H_{p,t}$) sont respectivement (720,720,480,480). En effet, nous supposons qu'un chirurgien travaille régulièrement 8 heures par jour et qu'il n'est pas obligé de travailler des heures supplémentaires. Par exemple, nous avons considéré ici que deux parmi les quatre chirurgiens acceptent de travailler, en cas de besoin, pendant les heures supplémentaires.

Le coût d'un jour d'hospitalisation est de 366.41 € [Guinet et Chaabane, 2003b]. Le coût d'une minute de bloc opératoire, en heures supplémentaires, est de 7.02 €

Nous proposons d'expérimenter l'approche sur un horizon de 8 jours. En effet, notre objectif principal est d'illustrer le processus d'application de cette approche qui s'applique de la même manière sur chaque horizon de 8 jours.

Le premier jour de l'horizon est le vendredi de la semaine S_0 . Le 8^{ème} jour est le vendredi de la semaine S_1 . Une semaine commence par un lundi et finit par un dimanche. Deux semaines S_i et S_{i+1} sont évidemment deux semaines consécutives. Nous commençons ainsi par une planification des interventions sur l'horizon de 8 jours (du lundi de la semaine S_1 au lundi de la semaine S_2). Cette planification permet de confirmer les admissions de la semaine S_1 (voir figure 28).

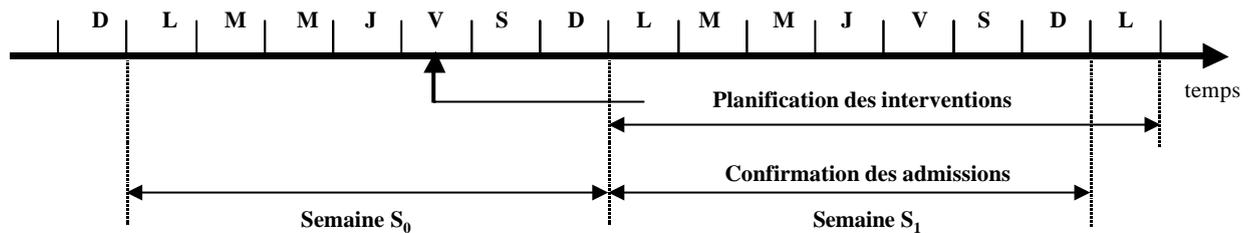


Figure 28 : Horizon temporel considéré dans l'expérimentation

La charge engagée de ce système de soins prévue pour le lundi de la semaine S_1 est déterminée en considérant :

- 16 patients déjà hospitalisés et opérés : les mêmes que ceux qui ont été considérés dans la série de problèmes de planification des interventions présentée dans la partie 4.3 du chapitre 3 (présentée à la page 103).
- 9 patients de classe C_1 (patients qui sont déjà hospitalisés mais qui ne sont pas encore opérés ou patients dont la date d'hospitalisation est déjà confirmée pour un jour tel que le jour prévu pour leur intervention appartient à l'horizon de planification des interventions) : les mêmes que ceux qui ont été considérés dans la série de problèmes de planification des interventions présentée dans la partie 4.3 du chapitre 3.

Le nombre de patients de classe C_2 (patients i dont la date d'hospitalisation r_i fournie en fin de consultation, comprise entre le lundi et le dimanche de la semaine S_1 , n'est pas encore confirmée) est de 50.

La liste L_3 des patients dont la date d'hospitalisation sera recalculée afin de mettre à jour la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du lundi de la semaine S_1 comporte 120 patients. Les dates d'hospitalisation sont recalculées sur l'horizon de temps $[\Delta_{h,d+1}+1, H_d]$. Ici $\Delta_{h,d+1}+1$ désigne le lundi de la semaine S_2 . H_d sera précisé à chaque mise à jour en fonction des données relatives aux patients de la liste L_3 (date d'hospitalisation au plus tard et nombre de jours d'hospitalisation).

2.2. Données

Les données relatives aux processus de soins prévus à suivre par les patients considérés dans ce système de soins (durée de séjour à l'hôpital et durée de séjour en réanimation), les dates d'hospitalisation des patients de classe C_1 , les dates d'hospitalisation fournies en fin de consultation et les dates d'hospitalisation au plus tard des patients de classe C_2 et de la liste L_3 ainsi que les paramètres précisant le chirurgien chargé d'une intervention et la salle d'opération où une intervention peut être réalisée ont été générés aléatoirement. Pour les patients de classe C_1 et C_2 concernés par la planification des interventions à établir le vendredi de la semaine S_0 , ces données

sont les mêmes que celles considérées dans le problème N°16 présenté au tableau 5 (voir partie 4.3 du chapitre 3 à la page 104). Pour les patients dont la date d'hospitalisation sera recalculée afin de mettre à jour la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du lundi de la semaine S_1 , ces données sont les mêmes que celles considérées dans le problème N°8 présenté au tableau 4 (voir partie 4.2 du chapitre 3 à la page 102).

Les capacités effectives des ressources critiques dépendent uniquement du jour de la semaine et sont les mêmes que celles présentées dans le tableau 3 (voir partie 4.2 du chapitre 3 à la page 101).

La durée de l'étape per-opératoire d'une intervention est une durée composite. C'est la somme de la durée de préparation de la salle, de la durée de réalisation de l'acte chirurgical et de la durée de nettoyage de la salle. Les durées de réalisation de l'acte chirurgical sont générées aléatoirement suivant une distribution log-normale de moyenne 180 minutes et d'écart type 60 minutes. Un acte chirurgical dure entre 30 minutes et 420 minutes [Kharraja *et al.*, 2002].

La durée de préparation de la salle d'opération est de :

- 10 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est inférieure à 90 minutes,
- 20 minutes pour les autres.

La durée de nettoyage de la salle d'opération est de :

- 15 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est inférieure à 120 minutes,
- 30 minutes pour les autres.

La durée d'installation du patient et de son induction est de :

- 10 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est inférieure à 60 minutes,
- 20 minutes pour les interventions dont la durée de l'acte chirurgical est comprise entre 60 et 120 minutes,
- 30 minutes pour les autres.

Les durées de réveil du patient en minutes sont générées aléatoirement suivant une distribution log-normale de moyenne, la durée de l'acte chirurgical diminuée de 10, et d'écart type 15.

En l'absence de données réelles, nous avons opté pour l'estimation des durées opératoires d'une façon empirique, et ce en s'inspirant des travaux de [Kharraja *et al.*, 2002]. Par ailleurs, l'approximation des temps de séjour en salle d'opération et en salle de réveil utilise les résultats obtenus dans [Zhou et Dexter, 1998] et [Dexter et Tinker, 1995].

Les données spécifiques aux patients pour lesquels une date d'hospitalisation sera fournie en fin de consultation ainsi que celles spécifiques aux demandes de prise en charge de patients arrivant en urgence seront présentées avec les résultats expérimentaux correspondants.

3. Résultats expérimentaux

Tout d'abord, nous allons rappeler brièvement le processus d'application de l'approche globale proposée dans cette étude avant de présenter les résultats expérimentaux obtenus.

3.1. Processus d'application de l'approche

En considérant l'horizon de 8 jours qui s'étend entre le vendredi d'une semaine S_0 et le vendredi d'une semaine S_1 , le processus d'application de l'approche commence par :

- une planification des interventions sur l'horizon de 8 jours (du lundi de la semaine S_1 au lundi de la semaine S_2). Cette planification permet de confirmer les admissions de la semaine S_1 .
- une mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du lundi de la semaine S_1 . Cette mise à jour doit tenir compte du résultat de planification des interventions ainsi que d'éventuelles admissions de patients venant en urgence durant le samedi et le dimanche de la semaine S_0 (jours non ouvrables du bloc opératoire).

Ensuite, pour chaque jour ouvrable du bloc opératoire de la semaine S_1 , deux scénarios peuvent se présenter :

- si les interventions pouvant être réalisées sont les mêmes que celles prévues par le planning des interventions établi le vendredi de la semaine S_0 alors il suffit de chercher un ordonnancement des interventions,
- sinon, il faut commencer par une affectation des interventions aux salles d'opération, puis chercher un ordonnancement des interventions. Ce cas se présente s'il y a eu report d'interventions pour permettre la prise en charge de patients venant en urgence.

Nous soulignons ici que nous considérons un ordonnancement des interventions centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI ». Dans l'ordonnancement des interventions, nous reconsidérons partiellement l'affectation des interventions aux salles d'opération. La planification des intervention ou l'étape d'affectation serviront, dans ce cas, uniquement à fixer les interventions à réaliser. Dans ce bloc opératoire, un chirurgien peut opérer sur plusieurs salles d'opération durant une journée. Mise à part l'état d'urgence des patients, toutes les interventions sont considérées de même priorité.

Pour chaque jour ouvrable du bloc opératoire, l'approche inclut également la recherche de dates d'hospitalisation pour les patients venant en consultation et pour lesquels chirurgien et médecin anesthésiste/réanimateur viennent de se prononcer sur la nécessité d'une intervention chirurgicale. Aussi, l'approche permet de répondre à toute demande concernant l'admission d'un patient venant en urgence, dont l'état nécessite une prise en charge au bloc opératoire le jour même avant une heure donnée. Désormais, l'admission d'un cas urgent peut engendrer une surcharge du système de soins. Cette admission n'est donc possible que si la surcharge peut être compensée en faisant appel aux heures supplémentaires de travail ou en reportant des interventions non urgentes ou encore en se permettant de retarder la date d'admission de patients qui ne sont pas urgents.

Par ailleurs, s'il y a eu admission de cas urgents (non programmés à l'avance) ou report d'interventions à cause de complications imprévues ou modification des prévisions du processus de soins qui reste à suivre par un patient ou encore recherche d'une nouvelle date d'hospitalisation pour un patient de la liste L_3 afin de rendre possible l'hospitalisation d'un patient, venant en consultation, et dont l'état présente une certaine urgence, une mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle devient nécessaire. Toutefois, si l'intégration des trois premiers types d'aléas, cités ci-dessus, reste dans le respect de la disponibilité résiduelle des ressources alors il n'est pas nécessaire de recalculer les dates d'hospitalisation des patients de la liste L_3 . Dans ce cas, il suffit de mettre à jour la matrice de disponibilité résiduelle comme indiqué au pas 4 de l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation (se référer à la partie 3.3.1.2. du chapitre 3 donnée à la page 80).

Dans la figure 29, nous avons représenté le schéma expérimental de l'approche proposée sur l'horizon de 8 jours.

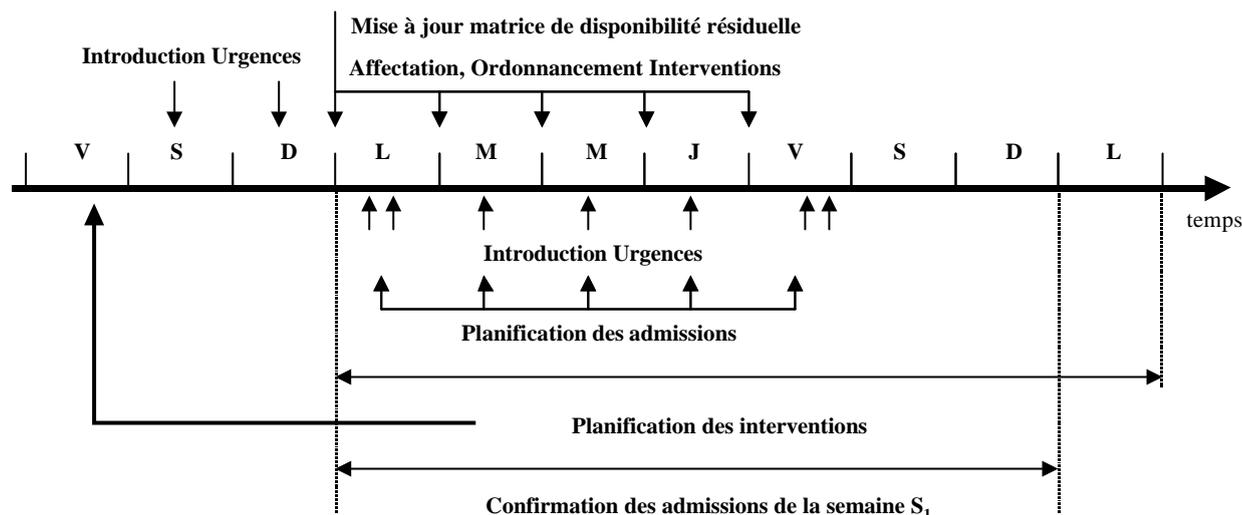


Figure 29 : Schéma expérimental de l'approche proposée sur l'horizon de 8 jours

3.2. Résultats expérimentaux

Dans cette expérimentation, nous avons utilisé un logiciel commercial ILOG OPL Studio 3.0 pour la résolution de programmes linéaires (en nombres entiers ou mixtes), et ce en utilisant la version 7.0 de CPLEX. Nous avons, par ailleurs, implémenté l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation en utilisant le langage de programmation C. Les différentes expérimentations ont été réalisées sur un PC Pentium III, 930Mhz. Dans ce qui suit, nous allons exposer les différents résultats obtenus dans l'ordre des 8 jours considérés.

Vendredi de la semaine S_0

- *Planification des interventions*

Le tableau 17 rapporte le résultat de la planification des interventions sur l'horizon de 8 jours (du lundi de la semaine S_1 au lundi de la semaine S_2) obtenu le vendredi de la semaine S_0 . Dans ce tableau, nous donnons :

- le nombre de patients de classe C_2 considérés (NC_2),
- le nombre de contraintes (Nbre. Cont.),
- le nombre de variables (Nbre. Var.),
- la valeur de la fonction objectif considérée en jours (Z),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($T(s)$).

NC_2	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Z	$T(s)$
50	2370	1432	6	4.33

Tableau 17 : Résultat de la planification des interventions obtenu le vendredi de la semaine S_0

Samedi de la semaine S_0

Le samedi est un jour non ouvrable du bloc opératoire. Par ailleurs, nous supposons qu'aucune admission en urgence n'a été effectuée durant ce jour.

Dimanche de la semaine S_0

Le dimanche est aussi jour non ouvrable du bloc opératoire. Nous supposons également qu'il n'y a eu aucune admission en urgence.

Lundi de la semaine S_1

- Mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle

La mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle doit s'effectuer avant le début des consultations de ce jour. Dans cette expérimentation, la mise à jour servira particulièrement à recalculer les dates d'hospitalisation des patients de L_3 vu que celles-ci ont été générées d'une façon aléatoire.

Dans le tableau 18, nous présentons le résultat du recalcul des dates d'hospitalisation en vue de mettre à jour la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du lundi de la semaine S_1 . Nous donnons :

- le nombre de patients dont la date d'hospitalisation est recalculée dans la mise à jour (NL_3),
- l'horizon de temps où sont recalculées les dates d'hospitalisation (Horizon³⁰),
- le nombre de contraintes (Nbre. Cont.),
- le nombre de variables (Nbre. Var.),
- la valeur de la fonction objectif considérée en jours (Z),
- le temps de calcul en secondes de la solution ($T(s)$).

NL_3	Horizon	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Z	$T(s)$
120	29	445	3480	103	995.25

Tableau 18 : Résultat du recalcul des dates d'hospitalisation pour la matrice de disponibilité résiduelle du lundi de la semaine S_1

- Ordonnancement des interventions

Comme la liste des patients pouvant être opérés durant le lundi de la semaine S_1 est la même que celle donnée par la planification des interventions établie le vendredi de la semaine S_0 , il est inutile de rétablir l'affectation des interventions aux salles d'opération. Il suffit de chercher un ordonnancement de ces interventions. Cependant, le programme opératoire d'un jour donné doit être construit avant l'ouverture du bloc opératoire.

Dans le tableau 19, nous donnons :

- le nombre d'interventions considérées dans l'ordonnancement des interventions (N_2),
- le nombre de contraintes (Nbre. Cont.),
- le nombre de variables (Nbre. Var.),
- le dépassement des heures régulières dans l'ensemble des salles d'opération en minutes (Y),
- le temps de calcul en secondes de la solution (CPU(s)).

³⁰ Horizon = $H_d - \Delta_{h,d+1}$

N_2	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Y	CPU(s)
8	934	214	0	2.11

Tableau 19 : Résultat de l'ordonnement des interventions du lundi de la semaine S_1

- *Planification des admissions*

Dans le tableau 20, nous donnons toutes les données concernant un patient à insérer d'ordre d'arrivée (O_A) :

- état d'urgence du patient (Urg.),
- durée de séjour (en jours) du patient (DS),
- durée de séjour en réanimation (en jours) du patient (DR),
- durée d'intervention en minutes (DI),
- date³¹ au plus tôt d'hospitalisation (Date tôt),
- date au plus tard d'hospitalisation (Date tard),
- date au plus tôt d'hospitalisation préférée par le patient à insérer (r_p),
- date au plus tard d'hospitalisation préférée par le patient à insérer (d_p).

Nous présentons également quelques résultats concernant l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation :

- la date d'hospitalisation proposée (Date Hosp.),
- le temps, en secondes, au bout duquel cette date d'hospitalisation a été déterminée (T(s)).

O_A	Urg.	DS	DR	DI	Date Tôt	Date tard	r_p	d_p	Date Hosp.	T(s)
1	Non	4	0	113	8	36	8	18	8	0.000
2	Non	5	2	204	8	30	8	15	8	0.000
3	Non	3	0	89	8	36	10	20	10	0.000
4	Non	5	1	153	8	36	21	28	24	0.000
5	Non	2	0	66	8	32	8	15	8	0.000
6	Non	7	3	232	8	22	8	22	8	0.000

Tableau 20 : Résultats de la planification des admissions effectuée le lundi de la semaine S_1

- *Etude de demandes d'admissions de cas urgents*

Nous nous intéressons ici à l'étude de la possibilité d'admission de patients venant en urgence et dont l'état nécessite une prise en charge au bloc opératoire dans la journée, avant une heure donnée. Nous utilisons ici l'approche proposée dans cet objectif présentée au chapitre 5. Nous supposons, dans cette expérimentation, que le programme opératoire prévisionnel a été respecté à l'instant d'arrivée de la demande d'admission du cas urgent.

Dans le tableau 21, nous précisons pour chaque demande d'admission d'un cas urgent :

- l'instant³² de réception de la demande (I_D),
- l'instant prévu à l'arrivée de l'urgence (I_A),

³¹ La date « 1 » correspond ici au lundi de la semaine S_1 .

³² Tout instant est défini à partir de l'instant d'ouverture du bloc opératoire. Il est exprimé en minutes.

- l'instant au plus tard de début de prise en charge du patient urgent au bloc opératoire (d),
- la durée en minutes de l'intervention du patient urgent (DI),
- la durée en minutes de réveil du patient urgent (D_{rev}),
- la durée de séjour (en jours) du patient urgent (DS),
- la durée de séjour en réanimation (en jours) du patient urgent (DR),
- si la demande est acceptée ou non (R_D),
- l'instant de début au plus tôt de prise en charge du patient urgent en considérant uniquement les interventions en cours de réalisation (t_1),
- l'instant de début de prise en charge du patient urgent au bloc opératoire si la demande est acceptée (D_B),
- le temps de réponse³³, en secondes (TR(s)),
- le nombre d'interventions reportées (N),
- les coûts (en euros) engendrés suite à cette admission (Z).

I_D	I_A	d	DI	D_{rev}	DS	DR	R_D	t_1	D_B	TR(s)	N	Z
135	150	320	141	153	5	2	oui	168	168	2.32	0	920

Tableau 21 : Résultat relatif à la demande d'admission d'un cas urgent reçue le lundi de la semaine S_1

Mardi de la semaine S_1

- *Mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle*

La mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du mardi de la semaine S_1 ne nécessite pas le recalcul des dates d'hospitalisation des patients de la liste L_3 .

- *Ordonnancement des interventions*

Comme la liste des patients pouvant être opérés le mardi de la semaine S_1 est la même que celle donnée par la planification des interventions établie le vendredi de la semaine S_0 , il est inutile de rétablir l'affectation des interventions aux salles d'opération. Il suffit de chercher un ordonnancement de ces interventions.

Le tableau 22 rapporte le résultat d'ordonnancement des interventions d'une manière identique au tableau 19.

N_2	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Y	CPU(s)
8	934	214	0	42.10

Tableau 22 : Résultat de l'ordonnancement des interventions du mardi de la semaine S_1

³³ C'est aussi le temps de résolution du programme linéaire mixte (PL7).

- *Planification des admissions*

Dans le tableau 23, nous donnons toutes les données concernant un patient à insérer ainsi que quelques résultats concernant l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation. Le tableau 23 expose ces données et résultats d'une manière identique au tableau 20.

O_A	Urg.	DS	DR	DI	Date Tôt	Date tard	r _p	d _p	Date Hosp.	T(s)
1	Non	3	0	79	8	36	9	19	9	0.000
2	Non	8	1	133	8	36	8	36	10	0.000
3	Non	2	0	57	8	36	15	22	-*	0.000
							22	29	23	0.000
4	Oui	4	2	103	14	16	14	16	14**	7.521
5	Non	4	0	143	8	36	8	36	11	0.000
6	Non	3	1	82	8	36	8	28	10	0.000
7	Non	2	0	60	8	36	15	22	-*	0.000
							22	29	24	0.000

(*) Aucune date n'a été possible entre r_p et d_p.

(**) Cette date n'a été possible qu'après déplacement de la date d'hospitalisation d'un patient de la liste L₃.

Tableau 23 : Résultats de la planification des admissions effectuée le mardi de la semaine S₁

Si aucune date d'hospitalisation entre r_p et d_p (précisant la période durant laquelle le patient souhaite être hospitalisé) n'a été possible d'accorder au patient non urgent, ce dernier doit proposer une autre période.

- *Etude de demandes d'admissions de cas urgents*

Comme dans le tableau 21, nous donnons dans le tableau 24 quelques précisions concernant chaque demande d'admission d'un cas urgent reçue le mardi de la semaine S₁.

I_D	I_A	D	DI	D _{rev}	DS	DR	R_D	t ₁	D_B	TR(s)	N	Z
90	110	300	198	141	6	4	oui	135	135	23.97	0	800.61
270	300	480	207	141	4	1	oui	333	443	0.10	0	1994.50

Tableau 24 : Résultat relatif à deux demandes d'admission de cas urgent reçues le mardi de la semaine S₁

Mercredi de la semaine S₁

- *Mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle*

La recherche d'une date d'hospitalisation pour un patient urgent le mardi de la semaine S₁ (4^{ème} demande de recherche de date d'hospitalisation) a nécessité de retarder la date d'hospitalisation d'un patient de la liste L₃ (patient N°43 dans la liste L₃) de 4 jours (du jour 20 au jour 24 où le jour de date « 1 » désigne toujours le lundi de la semaine S₁). Ainsi, une mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle doit s'effectuer avant le début des consultations de ce jour. Dans cette mise à jour, il est nécessaire de recalculer les dates d'hospitalisation des patients de L₃.

Dans le tableau 25, nous présentons le résultat du recalcul des dates d'hospitalisation en vue de mettre à jour la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du mercredi de la semaine S_1 . Les notations employées dans ce tableau sont les mêmes que celles utilisées dans le tableau 18.

NL_3	Horizon	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Z	T(s)
132	36	502	4752	107	336.07

Tableau 25 : Résultat de recalcul des dates d'hospitalisation pour la matrice de disponibilité résiduelle du mercredi de la semaine S_1

Le nombre de patients de la liste L_3 est de 132. En effet, nous supposons ici qu'il est possible de déplacer la date d'hospitalisation de tout patient dont l'état ne présente pas d'urgence particulière. Ainsi, nous avons rajouté à la liste L_3 les 12 admissions de patients non urgents effectuées le lundi et le mardi de la semaine S_1 .

Cependant, nous avons remarqué ici que le recalcul des dates d'hospitalisation n'a pas réellement amélioré le résultat obtenu par l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation concernant le déplacement de la date d'hospitalisation du patient de la liste L_3 . L'algorithme a permis ici d'obtenir d'ores et déjà une solution qui minimise l'écart entre dates d'hospitalisation recalculées et dates d'hospitalisation communiquées au patient en fin de consultation.

- *Ordonnancement des interventions*

La liste des patients pouvant être opérés durant le mercredi de la semaine S_1 est la même que celle donnée par la planification des interventions établie le vendredi de la semaine S_0 . Il est donc inutile de rétablir l'affectation des interventions aux salles d'opération. Il suffit de chercher un ordonnancement de ces interventions.

Le tableau 26 rapporte le résultat d'ordonnancement des interventions d'une manière identique aux tableaux 19 et 22.

N_2	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Y	CPU(s)
9	1176	258	0	9.46

Tableau 26 : Résultat de l'ordonnancement des interventions du mercredi de la semaine S_1

- *Planification des admissions*

Dans le tableau 27, nous donnons toutes les données concernant un patient à insérer ainsi que quelques résultats concernant l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation. Le tableau 27 expose ces données et résultats comme dans les tableaux 20 et 23.

O_A	Urg.	DS	DR	DI	Date Tôt	Date tard	r _p	d _p	Date Hosp.	T(s)
1	Non	7	2	179	8	36	22	29	24	0.000
2	Non	5	0	131	8	36	8	22	10	0.000
3	Non	5	1	150	8	36	8	22	-*	0.000
							23	29	25	0.000
4	Oui	3	0	66	8	15	-	-	8	0.020
5	Non	2	0	86	8	30	15	22	-*	0.000
							23	29	24	0.000

(*) Aucune date n'a été possible entre r_p et d_p.

Tableau 27 : Résultats de la planification des admissions effectuée le mercredi de la semaine S₁

- *Etude de demandes d'admissions de cas urgents*

Comme dans les tableaux 21 et 24, nous donnons dans le tableau 28 quelques précisions concernant la demande d'admission d'un cas urgent reçue le mercredi de la semaine S₁.

I_D	I_A	d	DI	D _{rev}	DS	DR	R_D	t ₁	D_B	TR(s)	N	Z
230	240	360	242	147	6	3	oui	265	333	1.19	0	1179.85

Tableau 28 : Résultat relatif à la demande d'admission d'un cas urgent reçue le mercredi de la semaine S₁

Jeudi de la semaine S₁

- *Mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle*

La mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du jeudi de la semaine S₁ ne nécessite pas le recalcul des dates d'hospitalisation des patients de la liste L₃.

- *Ordonnement des interventions*

La liste des patients pouvant être opérés durant le jeudi de la semaine S₁ est la même que celle donnée par la planification des interventions établie le vendredi de la semaine S₀. Il est donc inutile de rétablir l'affectation des interventions aux salles d'opération. Il suffit de chercher un ordonnancement de ces interventions.

Le tableau 29 rapporte le résultat de l'ordonnement des interventions d'une manière identique aux tableaux 19, 22 et 26.

N ₂	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Y	CPU(s)
10	1446	306	0	14.10

Tableau 29 : Résultat de l'ordonnement des interventions du jeudi de la semaine S₁

- *Planification des admissions*

Dans le tableau 30, nous donnons toutes les données concernant un patient à insérer ainsi que quelques résultats concernant l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation. Le tableau 30 expose ces données et résultats comme dans les tableaux 20, 23 et 27.

O_A	Urg.	DS	DR	DI	Date Tôt	Date Tard	r _p	d _p	Date Hosp.	T(s)
1	Non	3	0	94	8	30	23	29	24	0.000
2	Non	4	1	182	8	36	29	36	29	0.000
3	Non	4	2	143	8	29	23	29	25	0.000
4	Non	5	0	192	8	32	23	29	25	0.000

Tableau 30 : Résultats de la planification des admissions effectuée le jeudi de la semaine S₁

- *Etude de demandes d'admissions de cas urgents*

Comme dans les tableaux 21, 24 et 28, nous présentons dans le tableau 31 quelques précisions concernant la demande d'admission d'un cas venant en urgence reçue le jeudi de la semaine S₁.

I_D	I_A	d	DI	D _{rev}	DS	DR	R_D	t ₁	D_B	TR(s)	N	Z
360	380	480	188	112	4	0	oui	427	427	-	0	941.07

Tableau 31 : Résultat relatif à la demande d'admission d'un cas urgent reçue le jeudi de la semaine S₁

Vendredi de la semaine S₁

- *Mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle*

La mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle à utiliser durant les consultations du vendredi de la semaine S₁ ne nécessite pas le recalcul des dates d'hospitalisation des patients de la liste L₃.

- *Ordonnement des interventions*

La liste des patients pouvant être opérés durant le vendredi de la semaine S₁ est la même que celle donnée par la planification des interventions établie le vendredi de la semaine S₀. Il est donc inutile de rétablir l'affectation des interventions aux salles d'opération. Il suffit de chercher un ordonnancement de ces interventions.

Le tableau 32 rapporte le résultat de l'ordonnement des interventions d'une manière identique aux tableaux 19, 22, 26 et 29.

N ₂	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Y	CPU(s)
12	2070	414	5	3175.00

Tableau 32 : Résultat de l'ordonnement des interventions du vendredi de la semaine S₁

- *Planification des admissions*

Dans le tableau 33, nous donnons toutes les données concernant un patient à insérer ainsi que quelques résultats concernant l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation. Le tableau 33 expose ces données et résultats comme dans les tableaux 20, 23, 27 et 30.

O_A	Urg.	DS	DR	DI	Date Tôt	Date tard	r _p	d _p	Date Hosp.	T(s)
1	Non	5	2	138	15	36	23	36	25	0.000
2	Non	6	0	202	8	36	23	36	25	0.000
3	Non	4	1	141	15	36	29	36	29	0.000
4	Non	4	0	103	8	36	23	29	25	0.000
5	Non	3	1	94	8	33	28	33	28	0.000
6	Non	3	0	112	15	33	28	33	28	0.000
7	Oui	3	1	176	7	15	7	15	7	0.020
8	Non	2	0	62	8	30	8	15	9	0.000

Tableau 33 : Résultats de la planification des admissions effectuée le vendredi de la semaine S₁

- *Etude de demandes d'admissions de cas urgents*

Comme dans les tableaux 21, 24, 28 et 31, nous donnons dans le tableau 34 quelques précisions concernant deux demandes d'admission de cas venant en urgence reçues le vendredi de la semaine S₁.

I_D	I_A	d	DI	D _{rev}	DS	DR	R_D	t ₁	D_B	TR(s)	N	Z
240	270	360	221	184	5	2	oui	315	315	0.12	0	1439.69
415	435	480	176	148	3	0	oui	465	465	0.06	0	2570.38

Tableau 34 : Résultat relatif à deux demandes d'admission de cas urgent reçues le vendredi de la semaine S₁

- *Planification des interventions*

Le tableau 35 rapporte les résultats de la planification des interventions sur l'horizon de 8 jours (du lundi de la semaine S₂ au lundi de la semaine S₃) obtenu le vendredi de la semaine S₁. Dans un premier temps, nous avons considéré des données qui ne tiennent pas compte du résultat de recalcul des dates d'hospitalisation. Dans un deuxième temps, nous avons considéré des données qui, au contraire, tiennent compte du résultat de recalcul des dates d'hospitalisation.

Dans ce tableau, nous donnons pour chaque cas considéré :

- le nombre de patients de classe C₁ considérés (NC₁),
- le nombre de patients de classe C₂ considérés (NC₂),
- le nombre de contraintes (Nbre. Cont.),
- le nombre de variables (Nbre. Var.),
- la valeur de la fonction objectif en jours (Z),
- le temps de calcul en secondes de la solution (T(s)).

	NC ₁	NC ₂	Nbre. Cont.	Nbre. Var.	Z	T(s)
Sans tenir compte du résultat de recalcul des dates d'hospitalisation	13	69	3514	1984	104	9.86
En tenant compte du résultat de recalcul des dates d'hospitalisation	13	55	2893	1648	1	3.58

Tableau 35 : Résultats de la planification des interventions obtenus le vendredi de la semaine S₁

L'idée de considérer dans la planification des interventions les dates d'hospitalisation obtenues dans la mise à jour vient du fait que les dates d'hospitalisation initiales ont été générées d'une façon aléatoire et non par application de l'approche proposée. Ainsi, les dates d'hospitalisation recalculées doivent être plus proches des dates d'hospitalisation devant être fournies aux patients en fin de consultation.

Néanmoins, dans le cas normal, où les dates d'hospitalisation fournies aux patients en fin de consultation ont été déterminées par l'algorithme proposé dans l'approche, il faut considérer ces dernières dans la planification des interventions. En effet, ces dates d'hospitalisation constituent le premier engagement avec les patients.

Nous remarquons bien ici que le résultat obtenu par la planification des interventions en tenant compte des dates d'hospitalisation recalculées dans la mise à jour est meilleur que celui obtenu dans le cas où nous considérons les dates d'hospitalisation initiales qui ont été générées aléatoirement.

Synthèse des résultats obtenus sur la semaine S₁

Nous présentons, dans ce qui suit, un bilan des résultats obtenus sur la semaine :

- Nombre d'interventions programmées : 47
- Utilisation du bloc opératoire en dehors des heures régulières (en minutes) en tenant compte uniquement des interventions programmées : 5
- Utilisation moyenne (en minutes) du bloc opératoire en dehors des heures régulières par jour et par salle d'opération en tenant compte uniquement des interventions programmées : 0.33
- Nombre de demandes d'admissions de cas urgents reçues : 7
- Nombre de demandes acceptées : 7
- Utilisation du bloc opératoire en dehors des heures régulières (en minutes) en tenant compte des interventions programmées et urgentes : 1083
- Utilisation moyenne (en minutes) du bloc opératoire en dehors des heures régulières par jour et par salle d'opération en tenant compte des interventions programmées et urgentes : 72.20
- Nombre d'interventions reportées durant les 5 jours ouvrables de la semaine S₁ : 0
- Nombre total de patients pour lesquels une date d'admission a été accordée : 30
- Nombre de patients urgents pour lesquels une date d'admission a été accordée : 3
- Nombre de patients urgents dont la recherche d'une date d'admission a nécessité de retarder la date d'hospitalisation (non encore confirmée) d'un patient non urgent : 1
- Attente moyenne (en jours) des patients non urgents pour l'hospitalisation : 15.66

La recherche d'une date d'hospitalisation pour un patient urgent le mardi de la semaine S₁ (4^{ème} demande de recherche de date d'hospitalisation dans le tableau 23) a nécessité de retarder de 4 jours la date d'hospitalisation non encore confirmée d'un patient non urgent. En réalité, il arrive dans un système hospitalier de retarder des dates d'admissions et d'interventions [Luquet *et al.*, 2003]. Par

exemple, un audit effectué (en 2001) dans un CHU de Suisse Romande a mis en évidence un taux de report d'interventions programmées d'environ 10 à 15%. La plupart de ces reports auraient pu être évitées et trouvaient leur origine en amont du programme opératoire [Thorin *et al.*, 2003]. L'avantage que présente l'approche proposée consiste à détecter cette défaillance suffisamment tôt. Par exemple, elle permet d'éviter une hospitalisation du patient si la capacité du bloc opératoire ne permet pas de l'opérer le jour suivant.

L'utilisation moyenne du bloc opératoire en dehors des heures régulières par jour et par salle d'opération, en tenant compte des interventions programmées et urgentes, nous a semblé importante. Toutefois, celle-ci dépend de la réserve de capacité considérée pour la prise en charge de patients urgents. Désormais, en augmentant la réserve de capacité considérée pour le bloc opératoire, l'utilisation moyenne du bloc opératoire en dehors des heures régulières par jour et par salle d'opération doit diminuer. Par ailleurs, dans des travaux futurs, il serait intéressant d'étudier la réserve de capacité à considérer pour les différentes ressources critiques.

4. Conclusion

Nous avons consacré ce dernier chapitre à la validation de l'approche globale proposée dans cette étude sur un cas pseudo-réel. Nous avons ainsi expérimenté les modèles et algorithmes d'aide à la planification, l'affectation et l'ordonnancement des ressources dans les systèmes de soins comportant un service de chirurgie suivant la hiérarchie des quatre niveaux décisionnels abordés dans cette approche.

Nous avons expérimenté cette approche sur l'horizon de 8 jours. En effet, notre objectif principal ici était d'illustrer le processus d'application de cette approche qui s'applique de la même manière sur chaque horizon de 8 jours. Les différents résultats obtenus permettent de montrer la cohérence dans l'enchaînement des différentes décisions prises dans le cadre de cette approche.

Conclusions et perspectives

1. Conclusions

Nous nous sommes intéressés, dans ce travail, au problème de la planification et de l'affectation de ressources dans les systèmes hospitaliers. Ce problème est d'une grande importance dans un contexte de ressources rares, d'une croissance de la demande de soins, de plus en plus variée et exigeante, et d'une incitation au contrôle des dépenses de santé ainsi qu'à l'amélioration de l'efficacité et de la productivité du secteur hospitalier.

Nous avons commencé par étudier le système hospitalier en mettant l'accent sur ses particularités organisationnelles et sur les différentes tentatives de rationalisation pour une intégration de la gestion à l'activité de soins. Ensuite, nous avons abordé les systèmes de production de soins auxquels nous nous intéressons particulièrement à travers l'étude des systèmes hospitaliers. Nous nous sommes basés sur quatre éléments caractéristiques des systèmes de production de services (cibles, ressources, tâches et mode de pilotage) pour décrire les systèmes de production de soins. Mais bien avant, nous avons identifié les spécificités des systèmes de production de soins par rapport aux autres systèmes de production (de biens ou de services). Nous avons ainsi montré que les systèmes de production de soins sont des systèmes complexes soumis à des phénomènes aléatoires engendrés par la présence d'éléments humains forts. Par ailleurs, nous avons noté qu'une « bonne » classification des patients peut constituer un point de convergence entre système de production de biens et système de production de soins. Ainsi, il semble possible d'appliquer les compétences acquises en systèmes de production de biens aux systèmes de production de soins mais tout en tenant compte de leurs spécificités.

A partir d'une revue de la littérature, nous avons recensé les approches et les méthodes qui ont été adoptées pour traiter quelques aspects du problème de la planification et de l'affectation de ressources dans les systèmes de production de soins. Nous avons vu ainsi que celles-ci reposent sur des concepts, des modèles et des techniques issus de la littérature sur le problème de la planification et de l'affectation de ressources dans les systèmes de production de biens. D'un autre côté, nous avons noté l'utilisation prépondérante d'une approche de gestion centrée sur une ressource, considérée comme ressource critique du système de soins. La planification du patient dépend de la disponibilité de cette ressource. Toutefois, l'utilisation d'autres ressources critiques dans le processus de prise en charge du patient oblige parfois celui-ci de passer plusieurs jours à l'hôpital dans l'attente de soins ou d'examens pour lesquels ces ressources ne sont pas réellement disponibles. Quelques auteurs reconnaissent plusieurs ressources comme ressources critiques du système de soins ; mais dans la planification, ils les considèrent d'une façon indépendante qui ne tient pas compte du processus de prise en charge global du patient.

En ce sens, nous avons prôné l'utilisation d'une approche de gestion centrée sur le processus de soins que doit suivre le patient. Une telle approche nous semble pertinente, notamment dans le cas de systèmes de soins où l'attente des patients hospitalisés pour certains soins est particulièrement importante. Par ailleurs, un jour de séjour de plus à l'hôpital génère une augmentation des coûts d'hospitalisation et influe négativement sur la santé du patient (risque d'infections nosocomiales, état psychologique du patient...).

Vu la grande variété des processus de prises en charge qu'on peut rencontrer dans un système hospitalier, nous avons opté pour l'étude d'un processus de soins bien particulier : un processus de soins passant par un service de chirurgie. En effet, ce type de processus représente une bonne partie des cas d'hospitalisation. Le coût que représente le bloc opératoire et les attentes importantes qu'il génère justifient également ce choix.

Afin de faire face aux aléas venant perturber le système de production de soins, nous avons proposé d'adopter un processus dynamique de décision qui s'illustre à travers une structure hiérarchique englobant les quatre niveaux décisionnels suivants :

- **Une planification des admissions**

Elle permet de fixer les dates d'hospitalisation des patients pour une intervention chirurgicale. L'horizon de planification peut s'étendre sur quelques mois (il dépend du système de soins considéré ainsi que des pathologies traitées). Nous avons commencé par recenser les pratiques de planification des admissions couramment mises en œuvre dans les systèmes de soins. Nous nous sommes ensuite centrés sur le cas où une date d'hospitalisation est à fournir au patient en fin de consultation dès que chirurgien et médecin anesthésiste/réanimateur se prononcent sur la nécessité d'une intervention chirurgicale. Néanmoins, cette pratique ne peut être mise en œuvre sans disposer d'outils et de méthodes permettant de fournir au patient une date d'hospitalisation en un temps réduit. Pour cela, nous avons proposé un algorithme de recherche de date d'hospitalisation fondé sur une approche d'insertion qui tient compte du processus de soins que doit suivre le patient. Nous avons montré que cet algorithme permet de déterminer une date d'hospitalisation en un temps réduit ; mais cette date n'est pas nécessairement optimale.

Afin de maximiser la fiabilité des dates d'hospitalisation fournies aux patients en fin de consultation, une mise à jour de la matrice de disponibilité résiduelle, intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu, semble nécessaire.

Par ailleurs, nous avons considéré que ce système de soins favorise l'admission de patients urgents. Ainsi, il arrive de retarder la prise en charge de patients programmés afin de rendre possible la prise en charge de patients venant en urgence. Dans un processus de soins comportant une étape chirurgicale, retarder une prise en charge consiste par exemple à reporter des interventions chirurgicales programmées dans la journée pour une journée ultérieure ou à retarder la date d'hospitalisation d'un patient non urgent fournie en fin de consultation, tant que celle-ci n'a pas encore été confirmée. Ainsi, nous avons préconisé la mise en place d'un processus de confirmation des dates d'hospitalisation fournies en fin de consultation à partir de la construction du programme opératoire sur l'horizon de T jours.

Néanmoins, afin d'éviter au maximum l'occurrence de ce type de situations indésirables, nous avons proposé de faire appel à deux potentiels de flexibilité : (1) laisser une réserve de capacité comme marge de manœuvre au niveau de la planification des admissions ; (2) faire appel aux heures supplémentaires d'ouverture du bloc opératoire permises par la législation au niveau de la construction du programme opératoire journalier.

- **Une construction du programme opératoire sur l'horizon de T jours**

Il s'agit de fixer les interventions à réaliser durant chaque jour de l'horizon considéré ainsi que les ressources qui seront employées. La planification des interventions et la confirmation des admissions sont deux décisions dépendantes puisqu'un patient est hospitalisé un jour avant le jour de son intervention. Ainsi, le processus de confirmation des admissions repose sur une planification des interventions qui tient compte du processus de soins que doit suivre le patient. Ce processus de confirmation suppose une organisation assurant la prise de contact avec le patient quelques jours avant la date d'hospitalisation qui lui sera confirmée afin de lui donner le temps de se préparer. Désormais, une date d'hospitalisation confirmée est une date « gelée ». Cependant, la planification des interventions, en cas de nécessité, peut être remise en cause par d'éventuelles replanifications.

Nous avons proposé une formulation mathématique du problème de la planification des interventions sur l'horizon de 8 jours en tant que programme linéaire mixte. Nous soulignons ici que le choix de l'horizon ne restreint pas le champ d'application du processus de confirmation des admissions proposé vu que l'horizon n'est qu'un paramètre du problème, qu'il faut ajuster aux besoins du système de soins en question. Les temps de résolution du modèle de planification des interventions peuvent être importants. Pour remédier à cela, nous avons développé une approche heuristique qui permet de planifier les interventions d'une façon séquentielle de jour en jour.

La planification des admissions incluant le processus de confirmation ainsi proposé ont fait le propos du chapitre 3.

- **Une construction du programme opératoire journalier**

La construction du programme opératoire journalier comporte deux objectifs : (1) mettre à jour le programme opératoire établi sur l'horizon de T jours en intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu dans le système de soins tel que le report d'interventions à cause d'admissions de patients venant en urgence ; (2) préciser l'ordre de réalisation des interventions en considérant les ressources critiques utilisées dans le processus opératoire.

Ainsi, nous avons proposé une construction du programme opératoire journalier en deux étapes :

- une étape d'affectation des interventions aux salles d'opération. Cette affectation permet de fixer les interventions à réaliser durant la journée concernée en minimisant l'attente des patients et en maximisant l'exploitation du bloc opératoire.
- une étape d'ordonnancement des interventions. Cette étape permet de définir de façon plus précise le programme opératoire. L'objectif est d'établir un ordonnancement des interventions à réaliser qui minimise le dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire. Nous avons abordé ici les deux approches d'ordonnancement : (1) un ordonnancement centré sur les salles d'opération ; (2) un ordonnancement centré sur l'ensemble « salles d'opération-SSPI ».

Quelques stratégies d'affectation et d'ordonnancement ont été présentées (chapitre 4). L'objectif était de pouvoir orienter le choix des acteurs du bloc pour l'une de ces stratégies. Désormais, la sélection d'une stratégie dépendra du type d'interventions réalisées, des caractéristiques du bloc opératoire, du dimensionnement de la SSPI en nombre de lits par rapport au nombre de salles d'opération, des priorités qui peuvent exister entre les interventions ainsi que des avantages que peut présenter celle-ci en terme de productivité.

- **Un pilotage temps-réel du bloc opératoire**

Le fonctionnement du bloc est déterminé par un programme opératoire prévisionnel qui précise les patients à opérer dans la journée, les différentes ressources critiques affectées à chaque intervention ainsi que l'ordre de réalisation des interventions. Cependant, il est possible que ce programme opératoire ne soit pas respecté à cause des différents types d'aléas qui peuvent survenir. Parmi ces aléas, nous pouvons citer l'incertitude dans la prévision des temps opératoires, les complications imprévues, l'arrivée de cas urgents à opérer dans la journée, avant une heure donnée. C'est pourquoi un outil d'aide au pilotage temps-réel nous a semblé approprié aux besoins du bloc opératoire. De plus, un pilotage temps-réel complète l'approche décisionnelle proposée puisqu'il permet d'assister la décision lorsqu'un aléa se produit. Dans le chapitre 5, nous nous sommes ainsi focalisés sur l'étude de la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire. Nous avons proposé une approche temps-réel basée sur les RdP T-temporels et la modélisation mathématique pour aider au pilotage du système de soins devant l'occurrence de ce type d'aléas. Par ailleurs, nous avons montré

que cette approche peut être adaptée pour la prise en compte d'autres types d'aléas qui peuvent survenir au bloc telle que l'incertitude dans l'estimation des durées opératoires.

Afin de valider l'approche globale proposée dans cette étude, nous l'avons expérimentée sur un exemple pseudo-réel (Chapitre 6). Ainsi, les modèles et algorithmes d'aide à la planification, à l'affectation et à l'ordonnancement des ressources dans les systèmes de soins comportant un service de chirurgie ont été utilisés suivant la hiérarchie des quatre niveaux décisionnels abordés dans cette approche. Nous avons expérimenté cette approche sur l'horizon de 8 jours. En effet, notre objectif principal ici était d'illustrer cette approche qui s'applique de la même manière sur chaque horizon de 8 jours. Les résultats obtenus permettent de montrer la cohérence des différentes décisions prises dans le cadre de cette approche.

Les modèles et algorithmes ainsi proposés s'insèrent dans le cadre d'une tentative d'intégration de la gestion à l'activité de soins. L'objectif est d'instrumenter le secteur de santé par des outils d'aide à la planification et à l'affectation des ressources. Toutefois, la décision finale sera toujours celle concertée par l'ensemble des acteurs concernés. En effet, compte tenu des caractéristiques de l'activité en termes de complexité, de variabilité et d'incertitude et des logiques professionnelles puissantes dans ce secteur, la clé de réussite de ces outils de gestion et d'optimisation est le facteur humain : les acteurs qui vont les utiliser. Ainsi, il faut impliquer les différents acteurs et les convaincre de l'intérêt de ces outils à argumenter et à valider leurs décisions.

2. Perspectives

Ce travail ouvre la voie à notre sens à diverses perspectives de recherche qui se situent sur deux plans : un approfondissement de la recherche et un élargissement du domaine de la recherche.

2.1. Approfondissement de la recherche

- *Amélioration de l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation*

Dans l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation, nous avons supposé que l'attente maximale entre date de consultation et date d'hospitalisation est bien estimée. Cette hypothèse garantit la possibilité de réinsertion de toute prise en charge dont le déplacement de la date de début permettra l'admission d'un patient urgent. Afin de relever cette hypothèse, nous proposons d'améliorer le pas 5 de l'algorithme de recherche de date d'hospitalisation. Dans cet algorithme, la sélection des patients non urgents dont la date d'hospitalisation sera déplacée afin de permettre l'admission d'un patient urgent est restreinte (le choix est fait pour les patients ayant la plus large date « au plus tard » et la plus large date « au plus tôt » d'hospitalisation et de plus faible coût de passage). Nous proposons ainsi d'élargir le champ de cette sélection à toute la liste des patients dont la date d'admission peut être déplacée en recourant au même critère de choix (les patients ayant la plus large date « au plus tard » et la plus large date « au plus tôt » d'hospitalisation et de plus faible coût de passage). Désormais, si la réinsertion de l'un des patients sélectionnés s'avère impossible, il ne faut pas s'arrêter, mais voir s'il y en a d'autres dont la date d'hospitalisation peut être déplacée et réinsérée.

- *Vers une approche multi-objectifs pour la construction d'un programme opératoire*

Dans l'ordonnancement des interventions, nous avons considéré comme objectif la minimisation du dépassement des heures régulières d'ouverture du bloc opératoire. Toutefois, dès que cet objectif est atteint (en trouvant un ordonnancement des interventions ne faisant pas appel aux heures supplémentaires), nous pensons qu'il serait aussi intéressant de recourir à d'autres objectifs comme

l'équilibrage de la charge de travail du personnel du bloc qui revient à minimiser l'écart entre les instants de fermeture des salles d'opération.

Par ailleurs, dans la planification des interventions, il serait aussi intéressant de considérer comme objectif la minimisation du nombre de patients de classe C_2 dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation n'est pas la même que celle confirmée. On irait ainsi vers une approche multi-objectifs [Guitouni, 2000] pour la construction d'un programme opératoire.

- *Evaluation des performances du système de soins après utilisation de l'approche proposée sur un horizon de temps important*

Nous avons présenté une expérimentation de l'approche décisionnelle proposée sur l'horizon de 8 jours. L'objectif de cette expérimentation était d'illustrer le processus d'application des différents modèles et algorithmes proposés et de montrer la cohérence des différentes décisions prises. En vue d'une évaluation plus large de cette approche, il serait intéressant d'explorer les performances du système de soins après sa mise en œuvre sur un horizon de temps important (quelques mois).

2.2. Elargissement de la recherche

- *Etude d'une programmation opératoire par pré-allocation de plages horaires*

Nous nous sommes ici centrés sur l'étude d'une programmation opératoire de type ouverte puisque nous nous sommes situés dans le cas où chaque service médical possède sa propre infrastructure de bloc. Nous avons également supposé que le nombre d'interventions annuel par spécialité n'est pas très important. Il serait ainsi intéressant d'étudier d'autres techniques de programmation opératoire comme celle par pré-allocation de plages horaires. L'objectif est de pouvoir définir les limites d'utilisation des différentes techniques. Par exemple, nous avons proposé l'utilisation de modèles mathématiques et d'algorithmes pour une programmation ouverte. Quelles sont les limites d'utilisation de ces modèles, peuvent-ils être adaptés à une programmation par pré-allocation de plages horaires ou faut-il aller vers la recherche d'autres outils appropriés à cette technique ?

Certains travaux ont essayé de comparer quelques techniques de programmation opératoire [Marcon et Kharraja, 2002b] d'une façon plutôt qualitative. Il serait aussi intéressant de comparer ces techniques d'une façon quantitative, notamment dans le cas où une question de choix peut se poser.

- *Aide à l'affectation des interventions aux chirurgiens*

Nous avons supposé que pour toute intervention programmée, nous connaissons le chirurgien qui va la réaliser. Dans les centres hospitaliers à mission universitaire, c'est généralement le chef de service qui se charge d'affecter les interventions aux chirurgiens en fonction de leur champ de compétence et de leur expérience. Cette affectation est donc réalisée d'une façon ad-hoc. Afin de mieux rationaliser cette décision, nous pensons qu'il serait utile de disposer d'un outil d'aide à l'affectation des interventions aux chirurgiens qui sera utilisé dans le cadre du conseil du bloc. L'objectif par l'affectation des interventions aux chirurgiens est d'équilibrer la charge de travail des chirurgiens en offrant, d'une façon équitable, la possibilité d'exercice aux jeunes chirurgiens. En effet, il s'agit là d'un point très important dans l'évolution de compétence d'un chirurgien. Dans cette affectation, il faut aussi tenir compte du fait que le temps de réalisation d'un acte chirurgical dépend de l'expérience du chirurgien. Dans le même cadre, il faut intégrer cette caractéristique dans le programme linéaire (PL7), dans lequel nous avons considéré que la durée de réalisation de l'acte chirurgical ne dépend pas du chirurgien.

- *Etude d'autres ressources critiques de système de soins*

Nous avons considéré trois ressources critiques d'un processus de soins comportant une étape chirurgicale : les lits d'hospitalisation, les lits de réanimation et le bloc opératoire. Toutefois, d'autres ressources, comme les infirmières, les laboratoires d'analyse, peuvent être aussi identifiées comme ressources critiques dans certains systèmes de soins. Par ailleurs, nous avons supposé la disponibilité de médicaments, de consommables et de matériels nécessaires lors de la prise en charge du patient. Mais, sans une logistique efficace, certaines de ces ressources peuvent être indisponibles et venir perturber la planification et l'affectation prévisionnelles. Par exemple, l'indisponibilité d'une prothèse, nécessaire à une intervention opératoire déjà programmée, oblige les responsables du bloc à annuler cette intervention. Cet axe englobe ainsi :

- L'étude d'autres types de processus de soins ayant d'autres ressources critiques que celles considérées par la présente étude.
- L'intégration de la logistique hospitalière dans la planification et l'affectation des ressources centrées sur le processus de soins que doit suivre le patient.

Bibliographie

- [Al Jaar et Desrochers, 1988] Al Jaar, R.-Y. et Desrochers, A. (1988). A survey of Petri Nets in automated manufacturing systems. *IMACS world congress*, Vol. 2, pp. 503-510, Paris, Juin.
- [Aloulou et Portmann, 2001] Aloulou, M.A. et Portmann, M.C. (2001). Définition d'ordonnancements flexibles. Première application à un problème à une machine. *Actes du 4^{ème} Congrès International de Génie Industriel*, Marseille, France.
- [Alur et Dill, 1994] Alur, R. et Dill, D. (1994). A theory of timed automata. *Theoretical Computer Science*, 126, pp. 183-235.
- [Artigues *et al.*, 2002] Artigues, C., Briand, C., Portmann, M.C. et Roubellat, F. (2002). Pilotage d'atelier basé sur un ordonnancement flexible. *Méthode de pilotage des systèmes de production*, Chapitre 5, Edition Hermès.
- [Bancel-Charensol et Jougleux, 1997] Bancel-Charensol, L. et Jougleux, M. (1997). Un modèle d'analyse des systèmes de production dans les services. *Revue française de gestion*, N°113, pp. 71-81.
- [Bean *et al.*, 1991] Bean, J.C., Birge, J.R., Mittenthal, J. et Noon, C.E. (1991). Machup scheduling with multiple resources, release dates and disruptions. *Operations Research*, 39, pp. 470-483.
- [Berthomieu et Diaz, 1991] Berthomieu, B. et Diaz, M. (1991). Modelling and Verification of Time Dependent Systems Using Petri Nets. *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 17, N°3, pp. 259-273.
- [Bhaskaran et Pinedo, 1991] Bhaskaran, K. et Pinedo, M. (1991). Dispatching, Chapter 83 in G. Salvendy (ed.). *Handbook of Industrial Engineering*, Wiley, New York.
- [Blake *et al.*, 2002] Blake, J.T., Dexter, F. et Donald, J.R.N. (2002). Operating room managers use of integer programming for assigning Block Time to surgical groups: A case study. *Anesthesiology*, Vol. 96, N°3.
- [Bradi et Hollingsworth, 1992] Bradi, M.A. et Hollingsworth, J.A. (1992). Emergency Room Scheduling: A Simulation Model. In *proceedings of System Modelling in Summer Computer Simulation*, Reno, Nevada, July, pp. 194-198.
- [Brams, 1983] Brams, G.W. (1983). *Les réseaux de Petri : théorie et pratique*. Les éditions MASSON, Paris.
- [Brandin et Wonham, 1994] Brandin, B. et Wonham, W.M. (1994). Supervisory control of timed discrete event systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 39(2) :329-341, 1994.
- [Brauner *et al.*, 2003] Brauner, N., Echahed, R., Finke, G., Prost, F. et Serwe, W. (2003). Intégration des méthodes de réécriture et de recherche opérationnelle pour la modélisation et la résolution de contraintes : application à la planification de personnel médical. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Camalot, 2000] Camalot, J-P. (2000). *Aide à la décision et à la coopération en gestion du temps et des ressources*. Thèse soutenue à l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Toulouse.

- [Centeno *et al.*, 2001] Centeno, M. A., Lopez, E., Carillo, M. et Ogazon, T. (2001). Challenges of simulating hospital facilities. *Proceedings of the Twelfth Annual Conference of the Production and Operations Management Society, POM*, March, Orlando.
- [Chaabane et Guinet, 2001] Chaabane, S. et Guinet, A. (2001). Gestion hospitalière : quelques éclairages sur l'état de l'art. *Actes de la 1^{ère} journée d'études francophone sur la gestion hospitalière*, Lyon, décembre.
- [Chaabane *et al.*, 2003] Chaabane, S., Guinet, A., Smolski, N., Guiraud, M., Luquet, B. et Viale, J.-P. (2003). La gestion industrielle et la gestion des blocs opératoires. *Revue Française d'Anesthésie et de Réanimation*, à paraître.
- [Chambaretaud *et al.*, 2001] Chambaretaud, S., Lequet-Slama, D. et Rodwin V.G. (2001). Couverture maladie et organisation des soins aux Etats-Unis. *Etudes et Résultats*, N°119, juin.
- [Chase, 1978] Chase, R. B. (1978). Where does the customer fit in the service operation? *Harvard business Review*. N°56-6, pp. 137-142.
- [Cheng et Sin, 1990] Cheng, T.C.E. et Sin C.C.S. (1990). A state-of-the-art review of parallel-machine scheduling research. *European Journal of Operational Research*, 47, pp. 271-292.
- [Claveranne, 1995] Claveranne, J.-P. (1995). L'hôpital entre marge et enfermement. *Colloque « marge, enfermement et société »*, Lyon, juillet.
- [Crémadez, 1997] Crémadez M., en collaboration avec Gâteau, F. (1997). *Le management stratégique hospitalier*. InterEditions, Masson, Paris.
- [Combes, 1994] Combes, C. (1994). *Un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.
- [Combes, 2001] Combes, C. (2001). Méthodologie de modélisation par simulation des établissements de soins : une application au service de chirurgie. *Actes de MOSIM'01*, Troyes, France.
- [Corréa, 1994] Corréa, H.-L. (1994). *Linking flexibility, uncertainty and variability in manufacturing systems*. Ashgate Publishing Company, England.
- [Culyer, 1990] Culyer, A. J. (1990). La maîtrise des dépenses de santé en Europe. *Les Systèmes de Santé, à la Recherche de l'Efficacité*, OCDE.
- [Daniels et Kouvelis, 1995] Daniels, R.L. et Kouvelis, P. (1995). Robust scheduling to hedge against processing time uncertainty in single-stage production. *Management Science*, 41, pp. 363-376.
- [David et Alla, 1992] David, R. et Alla, H. (1992). *Du grafcet aux réseaux de Petri*. Hermès, Paris.
- [David et Alla, 1994] David, R. et Alla, H. (1994). Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems-A Survey. *Automatica*, Vol. 30, N° 2, pp. 175-202.
- [Davies *et al.*, 1975] Davies, R., Johnson, D. et Farrow, S. (1975). Planning patient Care with a markov model. *Opnl. Res. Quart*, 26, pp. 599-607.

- [Davies et Roderick, 1998] Davies, R. et Roderick, P. (1998). Planning resources for renal services throughout UK using simulation. *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 285-295.
- [Delesie, 1998] Delesie, L. (1998). Bridging the gap between clinicians and health managers. *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 248-256.
- [Dexter et Thinker, 1995] Dexter, F. et Tinker, J.H. (1995). Analysis of strategies to decrease postanesthesia care unit costs. *Anesthesiology*, V 82, N° 1, Jan 1995.
- [Dexter et Macario, 1996] Dexter, F. et Macario, A. (1996). Applications of information systems to operating room scheduling. *Anesthesiology*, Vol. 85, N°6.
- [Dexter et Macario, 1999] Dexter, F. et Macario, A. (1999). Decrease in case duration required to complete an additional case during regularly scheduled hours in an operating room suite: a computer simulation study. *Anesthesia & Analgesia*, 88:72-6.
- [Dexter *et al.*, 1999a] Dexter, F., Macario, A., Traub, R.D., Hopwood, M. et Lubarsky, D.A. (1999). An operating room scheduling strategy to maximize the use of operating room block time: computer simulation of patient scheduling and survey of patients preferences for surgical waiting time. *Anesthesia & Analgesia*, Vol. 89, N°1.
- [Dexter *et al.*, 1999b] Dexter, F., Macario, A. et Traub, R.D. (1999). Which algorithm for scheduling add-on cases maximizes operating room utilization ?. *Anesthesiology*, Vol. 91, N°5.
- [Dexter, 2000] Dexter, F. (2000). A strategy to decide whether to move the last case of the day in an operating room to other empty operating room to decrease overtime labour costs. *International Anesthesia Research Society*, 91, 925-928.
- [Dexter, 2001] Dexter, F. (2001). Cost implications of various operating room scheduling strategies. *American Society of Anesthesiologist's Clinical Update Program*, 52(262),1-6.
- [Dexter et Neil, 2001] Dexter, F. et O'Neill L. (2001). Weekend Operating Room On Call Staffing Requirements. *AORN Journal*, November, Vol. 74, N° 5, pp.664-671.
- [Dexter *et al.*, 1999c] Dexter, F., Macario, A. et Traub R.D. (1999). Optimal Sequencing of Urgent Surgical Cases. *Journal of Clinical Monitoring and computing*, Vol. 15, Nos 3-4, May, pp. 153-196
- [Domenc *et al.*, 1995] Domenc, M., Durieux, J.-M. et Monot, J. (1995). Contribution de l'homme dans la maîtrise d'un processus : exemple du processus de gestion de production dans une PME. *Actes du séminaire : L'Homme, l'Organisation et la Qualité*, LERASS, Toulouse, pp. 32-43.
- [Dumas, 1984] Dumas, M.B. (1984). Simulation modelling for hospital bed planning. *Simulation*, Vol. 43, N° 2, August, pp. 69-78.
- [Dussauchoy *et al.*, 2003] Dussauchoy, A., Combes, C., Guin, 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. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.

- [Erol, 1999] Erol, M. (1999). *Prise en compte de la flexibilité dans la planification dynamique*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- [Fetter et Freeman, 1986] Fetter, R.B. et Freeman, J.L. (1986). Diagnostic related groups : Product Line Management within Hospitals. *Academy of Management Review*, 11, 1, 41-54.
- [Flagle et Young, 1966] Flagle, C.D. et Young, J.P. (1966). Application of operations research and industrial engineering to problems of health services, hospitals and public health. *J. Indust. Eng.*, 17, pp. 609-614.
- [Franchistéguy *et al.*, 1999] Franchistéguy, I., Larrasquet, J. M. et Tazi, S. (1999). La prise en charge des patients dans les établissements de santé : un exemple type de production de service complexe. *Actes du 3^{ème} Congrès International de Génie Industriel*, pp. 216-271, Mai, Montréal, Canada.
- [Freedman, 1991] Freedman, P. (1991). Time, Petri Nets, and Robotics. *IEEE transactions on robotics and automation*, Vol. 7, N° 4, pp. 417-433.
- [Frossard et Jourdain, 1997] Frossard, M. et Jourdain, A. (1997). De l'observation à la décision. *Actualité et Dossier en Santé Publique*, Dossier N°19, pp. XXI-XXIII.
- [Gascon *et al.*, 1992] Gascon, V., Michelon, P. et Claude, Y. (1992). Scheduling the carriers of a hospital delivery service. *Publication # 837*, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal.
- [Gauthier *et al.*, 1979] Gauthier, P. H., Grenon, A., Pinson, G. et Rameau, E. (1979). *Le contrôle de gestion à l'hôpital*, Edition Dunod.
- [Gilmore et Gomory, 1964] Gilmore, P.C. et Gomory, R.E. (1964). Sequencing a one state variable machine: a solvable case of travelling salesman problem. *Operations research*, 12, 655-679.
- [Gonzalez-Martinez *et al.*, 1997] Gonzalez-Martinez, M., Borges, J.A., Navarro, J. et Rodriguez, N.J. (1997). An automatic resource scheduling system (ARSS). *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 33, pp. 295-298, October.
- [Gordon *et al.*, 1988] Gordon, T., Lyles, AP.S. et Fountain, J. (1988). Surgical unit time review: Resource utilization and management implications. *J. Med. Syst*; 12: 169-79.
- [Gouin, 1999] Gouin, A. (1999). *Contribution à la commande supervisée des systèmes à événements discrets temporisés : synthèse de superviseur dans le cadre du modèle automate*. PhD thesis, LISA – Université d'Angers.
- [Guinet et Chaabane, 2003a] Guinet, A. et Chaabane, S. (2003). Une approche de type MRP2 pour la gestion des blocs opératoires. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Guinet et Chaabane, 2003b] Guinet, A. et Chaabane, S. (2001). Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics*, 85, pp. 69-81.
- [Guinet et Chaabane, 2001] Guinet, A. et Chaabane, S. (2001). *Rapport de recherche sur le projet HRP*.

[Guinet et Chaabane, 2002] Guinet, A. et Chaabane, S. (2002). Planification du bloc opératoire. *Rapport de recherche sur le projet HRP*.

[Guitouni, 2000] Guitouni, A. (2000). *Aide à la décision*. Notes de cours, faculté des sciences d'administration, Université Laval, Québec, Canada.

[Haas, 1984] de Haas, G. (1984). *Hospital information model*. Nationaal Ziekenhuis Instituut, Utrecht, Netherlands.

[Hall and Sriskandarajah, 1996] Hall, N.G. et Sriskandarajah, C. (1996). A survey of machine scheduling problems with blocking and no-wait in process. *Operations research*, 44, 510-525.

[Hammami, 2002] Hammami, S. (2002). *Comment gérer l'urgence dans les services de soins*. DEA de Génie Industriel, Institut Polytechnique de Grenoble, Juillet.

[Hammami *et al.*, 2003] Hammami, S., Jebali, A., Hadj Alouane, A. et Ladet, P. (2003). Approche multi-objectifs pour l'introduction de l'urgence dans le programme opératoire. *Actes du 5^{ème} Congrès International de Génie Industriel*, Québec, Canada, Octobre.

[Hanckock et Walter, 1984] Hanckock, W.M. et Walter, P.F. (1984). The use of admissions simulation to stabilize ancillary workloads. *Simulation*, Vol. 43, N 2, August, pp. 88-94.

[Hatchuel et Sardas, 1992] Hatchuel, A. et Sardas, J.C. (1992). Les grandes transitions contemporaines des systèmes de production, une démarche typologique. Dans : *Les nouvelles rationalisations de la production*. G. de Terssac et P. Dubois (Ed. CEPADUES), pp. 1-23.

[Heus, 1996] Heus, K. (1996). *Gestion des plannings infirmiers, Application des techniques de programmation par contraintes*. Thèse de doctorat, Université Grenoble 1.

[Hopcroft et Ullman, 1979] Hopcroft, J. et Ullman, J. (1979). *Introduction to automata theory, language and computation*. Addison-Wesley.

[Huang, 1998] Huang, X.M. (1998). Decision making support in reshaping hospital medical services. *Health Care Management Science*, 1, pp. 165-173, October.

[Iskander, 1989] Iskander, W.H. (1989). A simulation modelling for emergency medical service systems. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, 4-6 december, pp. 1107-1111.

[Iversen, 2000] Iversen, T. (2000). Potential effect of internal markets on hospital waiting time. *European Journal of Operational Research*, 121, pp. 467-475.

[Jaumard *et al.*, 1998] Jaumard, B., Semet, F. et Vovor, T. (1998). A generalized linear programming model for nurse scheduling. *European Journal of Operational Research*, 107, pp. 1-18.

[Jebali, 2000] Jebali, A. (2000). *Contribution à la formalisation du problème de la planification et de l'allocation de ressources dans les services de soins*. DEA de Génie Industriel, Institut Polytechnique de Grenoble, Juillet.

- [Jebali et Ladet, 2001] Jebali, A. et Ladet, P. (2001). La gestion hospitalière en termes de planification et d'allocation de ressources. *Rapport de recherche sur le projet HRP*.
- [Jebali et al., 2001] Jebali, A., Ladet, P. et Hadj Alouane, A. (2001). Une formalisation du problème d'affectation des ressources dans les services de soins. *Actes du 4^{ème} Congrès International de Génie Industriel*, Marseille, France.
- [Jebali, 2001] Jebali, A. (2002). *Etude de processus de soins - Cas du service de chirurgie générale : "Beau Séjour", Hôpital Charles Nicolle, Tunis*. Rapport de stage.
- [Jebali et al., 2002] Jebali, A., Hadj Alouane, A. et Ladet, P. (2002). Towards a methodology to generate resource assignment rules in healthcare systems. *Proceedings of the IEEE SMC'02*, Hammamet-Tunisia.
- [Jebali et al., 2003a] Jebali, A., Ladet, P. et Hadj Alouane, A. (2003). Vers une affectation supervisée et optimale des ressources dans les systèmes de production de soins. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Jebali et al., 2003b] Jebali, A., Hammami, S., Ladet, P. et Hadj Alouane, A. (2003). Une méthode pour la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Jebali et al., 2003c] Jebali, A., Ladet, P. et Hadj Alouane, A. (2003). Une méthode pour la planification des admissions dans les systèmes hospitaliers. *Actes de MOSIM'03*, Toulouse, avril.
- [Jebali et al., 2003d] Jebali, A., Hadj Alouane, A. et Ladet, P. (2003). Performance comparison of two strategies for operating room scheduling. *CD-ROM ISCIII'03 (International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics 2003)*, Nabeul, Tunisia, May.
- [Jebali et al., 2003e] Jebali, A., Hadj Alouane, A. et Ladet, P. (2003). Operating room scheduling. *Proceedings 2 of the International Conference on Industrial Engineering and Production Management*, Porto, Portugal, May.
- [Jebali et al., 2003f] Jebali, A., Ladet, P. et Hadj Alouane, A. (2003). Une approche heuristique pour la construction du programme opératoire. *Actes du 5^{ème} Congrès International de Génie Industriel*, Québec, Canada, octobre.
- [Kapadia et al., 2000] Kapadia, A.S., Chan, W., Sachdeva, R. et Moye, L.A. (2000). Predicting duration of stay in a pediatric intensive care unit: A Markovian approach. *European Journal of Operational Research*, 124, pp. 353-359.
- [Kao, 1973] Kao, E.P.C. (1973). A Semi-Markovian Population Model with application to Hospital Planning. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, Vol. SMC-3, N 4, Juillet, pp. 327-336.
- [Kao, 1974] Kao, E.P.C. (1974). Modelling the Movement of Coronary Patients within a Hospital by Semi-Markov Processes. *Operations Research*, Vol. 22, N° 4, Juillet-août, pp. 683-699.

- [Kao et Tung, 1981] Kao, E.P.C. et Tung, G.G. (1981). Bed allocation in public health care delivery systems. *Management Science*, Mai, pp. 507-520.
- [Kerleau, 1998] Kerleau, M. (1998). L'hétérogénéité des pratiques médicales, enjeu des politiques de maîtrise des dépenses de santé. *Sciences sociales et santé*, Vol. 16, N 4, pp. 5-32.
- [Kharraja et al., 2002] Kharraja, S., Chaabane, S. et Marcon E. (2002). Evaluation de performances pour deux stratégies de programmation opératoire de bloc. *Actes de la 2^{ème} Conférence Internationale Francophone d'Automatique*, Nantes, France.
- [Kharraja et Marcon, 2003] Kharraja, S. et Marcon E. (2003). Vers une construction automatique du plan directeur d'allocation des plages horaires. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Khun, 1955] Khun, H.W. (1955). The Hungarian method for the assignment problem. *Naval research logistics quaterly*, 2, pp: 83-98.
- [Kim et al., 1999] Kim, S-C., Horowitz, I., Young, K.K. et Buckley, T.A. (2000). Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital. *European Journal of Operational Research*, 115, pp. 36-46.
- [Kim et al., 2000] Kim, S-C., Horowitz, I., Young, K.K. et Buckley, T.A. (2000). Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit. *Journal of Operations Management*, 18, pp. 427-443.
- [Kim et Horowitz, 2002] Kim, S-C. et Horowitz, I. (2002). Scheduling hospital services: the efficacy of elective-surgery quotas. *Omega*, 30, pp. 335-346.
- [Klassen et Rohleder, 1996] Klassen, K.J. et Rohleder, T.R. (1996). Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment. *Journal of Operations Management*, 14, pp. 83-101.
- [Kontak-Frosyth et al., 1995] Kontak-Frosyth, M. & al. (1995). OR booking policy: development and implementation. *Canadian Nursing Journal Published Quarterly*, Vol. 13, N° 1, March/April.
- [Korabick, 1978] Korabick, R.M. (1978). A New Approach to Operational Efficiency for Chronic Renal Dialysis Program. *Winter Simulation Conference IEEE*, Highland, pp. 659-662.
- [Kumar et Kapur, 1989] Kumar, A.P. et Kapur, R. (1989). Discrete simulation application – Scheduling staff for emergency room. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, 4-6 December, pp. 1112-1120.
- [Kusters et Groot, 1996] Kusters, R.J. et Groot, P.M.A. (1996). Modeling resource availability in general hospitals, design and implementation of a decision support model. *European Journal of Operational Research*, 88, pp. 428-445.
- [Kuzdrall et al., 1981] Kuzdrall, P.J., Kwak, N.K. et Schmitz, H.H. (1981). Simulating space requirement and scheduling policies in a Hospital Surgical Suite. *Simulation*, Vol. 36, N° 5, pp. 163-171.

- [Kwak *et al.*, 1975] Kwak, N.K., Kuzdrall, P.J. et Schmitz, H.H. (1975). Simulating the use of space in a hospital surgical suite. *Simulation*, Vol. 24, N° 5, novembre, pp. 147-152.
- [Kwak *et al.*, 1976] Kwak, N.K., Kuzdrall, P.J. et Schmitz, H.H. (1976). The GPSS simulation of scheduling policies for chirurgical patients. *Management Science*, Vol. 22, N°9, Mai, pp. 982-989.
- [Lafon et Landry, 2001] Lafon, N. et Landry, S. (2001). Gérer plus efficacement les stocks du bloc opératoire à partir de la programmation des interventions chirurgicales. *Gestion hospitalière*, avril, N° 405.
- [Lagergren, 1998] Lagergren, M. (1998). What is the role and contribution of models to management and research in the health services? A view from Europe. *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 257-266.
- [Landry et Beaulieu, 2000] Landry, S. et Beaulieu, M. en collaboration avec Freil, T. et Duguay, C.R. (2000). Etude internationale des meilleures pratiques en logistiques hospitalières. *Cahier de recherche n°00-05*, ISSN 1485-5496, Ecole des HEC, Montréal, Québec.
- [Lenstra et Rinnooy Kan, 1980] Lenstra, J.K. et Rinnooy Kan, A.H.G. (1980). Computational complexity of discrete optimization. In: *J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan and P. Van Emde Boas (eds.), Interfaces Between Computer Science and Operations Research, Proceedings of a Symposium held at the Mathematisch Centrum*, Amsterdam, Mathematisch Centrum, pp. 64-85.
- [Leon *et al.*, 1990] Leon, V.J., Wu, S.D. et Storer, R.H. (1990). *Robustness measures and robust scheduling for job shops*. Department of Industrial Engineering, Lehigh University.
- [Léste et Vittorio, 1997] Léste, M.R. et Vittorio, W. (1997). The interactive approach to service quality and management. *CD-Rom du 2ème Congrès International Franco-Québécois*, septembre, Albi, France.
- [Lévy *et al.*, 1977] Lévy, E., Bungener, M., Dumenil, G. et Lafarge, H. (1977). *Introduction à la gestion hospitalière*, Edition Dunod.
- [Li et Benton, 1996] Li, L.X. et Benton, W.C. (1996). Performance measurement criteria in health care organizations: Review and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 93, pp. 449-468.
- [Limam, 1999] Limam, S. (1999). *Contribution à la modélisation et à la simulation des systèmes de production de services : proposition d'une méthode basée processus, UML et réseau de Petri objets*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- [Luquet *et al.*, 2003] Luquet, B., Smolski, N. et Viale, J.-P. (2003). Contexte difficile à une gestion optimisée d'un bloc opératoire : point de vue de cadre de bloc. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Mahé, 1997] Mahé, T. (1997). Hôpital – industrie : mêmes problèmes, mêmes remèdes. *Industries et Techniques*, N° 781, pp. 78-81, avril.

- [Malhotra , 2001] Malhotra, V. (2001). Nuts and bolts of OR management. *52nd Annual Refresher cours lectures, Clinical updates and basic science reviews*, during the Annual Meeting of the American Society of Anesthesiologists, October 13-17, 2001.
- [Marcon *et al.*, 2001a] Marcon, E., Kharraja, S. et Simmonet, G. (2001). The operating theatre scheduling: an approach centered on the follow-up of the risk of no realization of the planning. Operating theatre planning. *Proceeding of the Industrial Engineering and Production Management*, Quebec City, Canada.
- [Marcon *et al.*, 2001b] Marcon, E., Kharraja, S. et Simmonet, G. (2001). Minimization of the risk of no realization for the planning of the surgical interventions into the operating theatre. *8th IEEE Internatioanl Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA'2001*, pp. 675-680, France.
- [Marcon et Kharraja, 2002a] Marcon, E. et Kharraja, S. (2002). Etude exploratoire sur la stratégie de dimensionnement d'une SSPI. *Actes de la 2^{ème} Conférence Internationale Francophone d'Automatique*, Nantes, France.
- [Marcon et Kharraja, 2002b] Marcon, E. et Kharraja, S., (2002). Survol des différentes stratégies de programmation opératoire : Analyse de leurs performances et des outils informatiques de leur mise en œuvre. *Soumis au Journal Européen des Systèmes Automatisés*.
- [Mathias, 2000] Mathias, J.M. (2000). Benchmarking OR turnover times. *OR Manager*, June, Vol. 16, N°6.
- [McHugh, 1989] McHugh, M.L. (1989). Computer simulation as a method for selecting nurse staffing levels in hospitals. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, 4-6 december, pp. 1121-1129.
- [Mckay *et al.*, 1989] Mckay, K., Buzacott, J.A. et Safayen, F.R. (1989). The scheduler's knowledge of uncertainty: The missing link. *Knowledge Based Production Management Systems*. Elsevier Science Pulisher B.V., Amsterdam.
- [Mehta et Uzsoy, 1999] Mehta, S.V. et Uzsoy, R. (1999). Predictable scheduling of a single machine subject to breakdowns. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 12, N°1, pp. 15-38.
- [Merlin et Faber, 1976] Merlin, P. et Faber, D.J. (1976). Recoverability of communication protocols. *IEEE transaction on communication*, COM-24(9).
- [Michelon *et al.*, 1993] Michelon, P., Cruz, M.D. et Gascon, V. (1993). Using the Tabu search method for the distribution of supplies in a hospital. *Publication # 851*, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal.
- [Midler, 1993] Midler, C. (1993). *L'auto qui n'existait pas*, InterEditions, Paris.
- [Mintzberg, 1983] Mintzberg, H. (1983). *Structure et dynamique des organisations*, Editions d'organisation, Paris.

- [Minvielle, 1996] Minvielle, E. (1996). L'organisation du travail à l'hôpital, Gérer la singularité à grande échelle. *Revue française de gestion*, N 109, juin-juillet-août, pp. 114-124.
- [Moisdon et Tonneau, 1999] Moisdon, J.-C. et Tonneau, D. (1999). *La démarche gestionnaire à l'hôpital*, Editions Seli Arslan, Paris.
- [Moore et Gupta, 1996] Moore, K.E. et Gupta, S. M. (1996). Petri net models of flexible and automated manufacturing systems: a survey. *International Journal of Production Research*, Vol. 34, N° 11, pp. 3001-3035.
- [Murata, 1989] Murata, T. (1989). Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. *Papier invité. Actes des IEEE*, Vol. 77, N° 4, avril.
- [Nederstigt, 1985] Nederstigt, P. (1985). *Diagnostic Related Groups*. Thèse de doctorat, Katholic University Brabant, Tilburg, Netherlands.
- [Pampalon *et al.*, 1997] Pampalon, R., Rochon, M., Piché, J., Barriault, C., Berthiaume, N., Ferland, P., Levasseur, M. et Saucier, A. (1997). Indicateur global de besoins pour l'allocation régionale des ressources au Québec. *Solidarité Santé*, N°3, pp. 92-114.
- [Pelletier, 1999] Pelletier, C. (1999). *Application des techniques d'aide à la décision à la planification sanitaire régionale*. Thèse de doctorat, Université Grenoble 1.
- [Pineault et Davaluy, 1995] Pineault, R. et Davaluy, C. (1995). *Planification de la santé : Concepts, Méthodes, Stratégie*. Montréal : Agence d'Arc Inc.
- [Pinedo, 1995] Pinedo M. (1995). Scheduling Theory, Algorithms and Systems. *Prentice Hall international series in industrial and systems engineering*.
- [Pouvoirville, 1996] de Pouvoirville, G. (1996). Introduction, Hôpitaux : la double contrainte. *Revue française de gestion*. N°109, juin-juillet-août, pp. 72-79.
- [Proth et Xie, 1995] Proth, J.M. et Xie, X. (1995). *Les réseaux de Petri pour la conception et la gestion des systèmes de production*. Les éditions MASSON, Paris.
- [Ramadge et Wonham, 1987] Ramadge, J.G. et Wonham, W.M. (1987). Supervisory control of a class of discrete event processes. *Control and optimization*, 25, pp 206-230.
- [Ramadge et Wonham, 1989] Ramadge, J.G. et Wonham, W.M. (1989). The control of discrete event systems. *Proceedings of the IEEE*, 77(1), pp 81-97.
- [Ridge *et al.*, 1998] Ridge, J.C., Jones, S.K., Nielsen, M.S. et Shahani, A.K. (1998). Capacity planning for intensive care units. *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 346-355.
- [Rossi et Jacomino, 2002] Rossi, A. et Jacomino, M. (2002). De la décision à la performance industrielle : synthèse d'une décision robuste. *Actes du colloque IPI*, pp. 25-37.
- [Rossi-Turk, 2002] Rossi-Turk, D. (2002). Comment garantir la qualité et la sécurité au bloc opératoire par une programmation et une logistique innovante ? *Santé et Systémique*, Vol. 6 1-2-3 /2002.

- [Roth et Dierdonck, 1995] Roth, A.V. et Dierdonck, R.V. (1995). Hospital Resource Planning: Concepts, Feasibility, and Framework. *Production and Operations Management*, Vol. 4, N° 1, Winter.
- [Sadeh *et al.*, 1993] Sadeh, N., Otsuka, S. et Schnelbach, R. (1993). Predictive and reactive scheduling with the micro-boss production scheduling and control system. *Center for Integrated Manufacturing Decision Systems*, Carnegie Mellon University.
- [Sava, 2001] Sava, A.T. (2001). *Sur la synthèse de la commande des SEDT*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- [Schmitz et Kwak, 1972] Schmitz, H.H. et Kwak, N.K. (1972). Monte Carlo Simulation of Operating-Room and Recovery-Room Usage. *RAIRO Recherche Opérationnelle / Operations Research*, Vol. 20, N° 6, novembre-décembre, pp. 1171-1180.
- [Schmitz *et al.*, 1978] Schmitz, H.H., Kwak, N.K. et Kuzdrall, P.J. (1978). The determination of surgical suite capacity and an evaluation of patient scheduling policies. *RAIRO Recherche Opérationnelle / Operations Research*, Vol. 12, N° 1, février, pp. 3-14.
- [Smith, 1992] Smith, S.F. (1992). A methodology and architecture for reactive scheduling. *The Robotics Institute*, Carnegie Mellon University.
- [Shuman *et al.*, 1974] Shuman, L.J., Wolfe, H. et Speas, R.D. (1974). The role of operations research in regional health planning. *Operations Research*, N°22, pp. 239-248.
- [Siferd et Benton, 1992] Siferd, S.P. et Benton, W.C. (1992). Workforce staffing and scheduling Hospital nursing specific models. *European Journal of Operational Research*, 60, pp. 233-246.
- [Silva et Teruel, 1997] Silva, M. et Teruel, E. (1997). Petri Nets for the design and operation of manufacturing systems. *European Journal of Control*, Vol. 3, pp. 182-199.
- [Silva et Valette, 1990] Silva, M. et Valette, R. (1990). Petri Nets and flexible manufacturing. *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 374-417, Advances in Petri Nets 1989, Grzegorz Rozenberg (ed.), Springer-Verlag.
- [Sriskandarajah et Ladet, 1986] Sriskandarajah, C. et Ladet, P. (1986). Some no-wait shops scheduling problems: complexity aspects. *European Journal of Operational Research*, 24, 3, 424-438.
- [Strauss, 1992] Strauss, A. (1992). *La trame de la négociation* (textes réunis par I. Baszanger). L'Harmattan, coll. Logiques sociales, Paris.
- [Swisher *et al.*, 2001] Swisher, J.R., Jacobson, S.H., Jun, J.B. et Balci, O. (2001). Modeling and analysing a physician clinic environment using discrete-event (visual) simulation. *Computers & Operations Research*, 28, pp. 105-125.
- [Szelke et Kerr, 1994] Szelke, E. et Kerr, R.M. (1994). Knowledge-based reactive scheduling. *Production Planning and Control*, 5, pp. 124-145.

- [Tarondeau et Wright, 1995] Tarondeau, J.-C. et Wright, R.W. (1995). La transversalité dans les organisations ou le contrôle par les processus. *Revue française de gestion*, N° 104, juin-juillet-août, pp. 112-121.
- [Teil, 2000] Teil, A. (2000). Coûts d'une minute de bloc opératoire et Coûts d'un service d'anesthésie : quelles utilisations. *Actes du colloque SNPCHAR*, Djerba, 165-181.
- [Thorin *et al.*, 2003] Thorin, D., Brasey, A.M., Becker, I. et Chassot, E. (2003). Bloc opératoire : quelques éléments de gestion. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Van Merode *et al.*, 1995] Van Merode, G.G., Hasman, A., Derks, J., Goldschmidt, H.M.J., Schoenmaker, B. et Oosten, M. (1995). Decision support for clinical laboratory capacity planning. *International Journal of Bio-Medical Computing*, 38, pp. 75-87.
- [Van Merode *et al.*, 1998] Van Merode, G.G., Oosten, M., Vrieze, O.J., Derks J. et Hasman, A. (1998). Optimisation of the structure of the clinical laboratory. *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 308-316.
- [Valette, 1996] Valette, D. (1996). *Formation des trajectoires d'offre de soins : Les interactions Hôpital – Environnement*. Thèse de troisième cycle, Paris Dauphine.
- [Vassilacopoulos, 1985] Vassilacopoulos, G. (1985). A simulation model for bed allocation to hospital inpatient departments. *Simulation*, Vol. 45, Novembre, pp. 233-241.
- [Vassy et Renard, 1992] Vassy, C. et Renard, F. (1992). Quels malades pour l'hôpital public ? Deux stratégies de segmentation, *Gérer et Comprendre*, N° 27.
- [Vissers, 1994] Vissers, J.M.H. (1994). *Patient flow based allocation of hospital resources*. Thèse, Eindhoven university of technology, Eindhoven.
- [Vissers, 1998] Vissers, J.M.H. (1998). Patient flow-based allocation of inpatient resources: A case study. *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 356-370.
- [Vries et Beekman, 1998] Vries, T.D. et Beekman, R.E. (1998). Applying simple dynamic modelling for decision support in planning regional health care. *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 277-284.
- [Weil *et al.*, 2003] Weil, G., Hiroux, M., Chan, P. et Joseph, R. (2003). Plannings des personnels dans l'unité de soins : un défi technique et sociologique ou la casse tête managé. *Actes de la 1^{ère} Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003*, Lyon, janvier.
- [Wright *et al.*, 1996] Wright, I.H., Kooperberg, C., Bonar, A.B. et Bashein, G., (1996). Statistical modeling to predict elective surgery time. *Anesthesiology*, Vol 85, N°6.
- [Wu *et al.*, 1993] Wu, S.D., Storer, R.H. et Chang, P.C. (1993). One machine rescheduling heuristics with efficiency and stability as criteria. *Computers and Operations Research*, 20, pp. 1-14.

[Yovine, 1993] Yovine, S. (1993). *Méthodes et outils pour la vérification symbolique des systèmes temporisés*. Thèse de doctorat, INPG, France.

[Zhou et Dexter, 1998] Zhou, J. et Dexter, F., (1998). Method to assist in the scheduling of add-on surgical cases, Upper prediction bounds for surgical case durations based on the log-normal distribution. *Anesthesiology*, Vol. 89, N°5.

[Zurawski et Zhou, 1994] Zurawski, R. et Zhou, M. (1994). Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial. *IEEE Transactions on industrial electronics*, Vol. 41, N°6, décembre, pp. 567-582.

Annexes

Annexe A : Algorithme de détermination de liste minimale

1. Notations

Avant de présenter l'algorithme de détermination de liste minimale, nous rappelons les différentes notations utilisées. En effet, il s'agit des mêmes notations employées dans l'algorithme de recherche d'une date d'hospitalisation (voir § 3.3.1. du chapitre 3).

Nous faisons ainsi recours aux notations suivantes :

DS_i : la durée de séjour d'un patient urgent i ,

$A_{m,k}$: la disponibilité résiduelle de la ressource m le jour k ,

r : la date d'hospitalisation du patient i ,

R : l'ensemble des couples (m,k) / $m \in [1..3]$ et $k \in [r..r+DS_i]$ tel que $A_{m,k} - 1 < 0$,

$S_{m,k}$: l'ensemble des patients utilisant la ressource m pendant le jour k et dont la date d'hospitalisation fournie en fin de consultation peut être déplacée.

L'objectif ici est de déterminer une partition minimale de R en N sous-ensembles R^1, R^2, \dots, R^N vérifiant la condition $\bigcap_{(m,k) \in R^s} S_{m,k} \neq \emptyset, \forall s \in [1..N]$. Par la recherche de cette partition minimale, nous voulons minimiser le nombre de patients dont la date d'hospitalisation est à déplacer afin de permettre la prise en charge du patient urgent i .

2. Algorithme

Pas 1 : Initialisation

$P := R$

Pas 2 :

TANT QUE $P \neq \emptyset$ FAIRE

 DEBUT

$n := \text{card}(P) - 1$

$s := 1$

 Tant que $n \geq 1$ Faire

 Début

$l := C_{\text{card}(P)}^{\text{card}(P)-n}$

 tant que $l \geq 1$ faire

 début

 Sélectionner un sous-ensemble P^l comportant $(\text{Card}(P)-n)$ élément (m,k) de $P/P^l \neq P^l$

$\forall l' > l$

 Déterminer $I = \bigcap_{(m,k) \in P/P^l} S_{m,k}$

 si $I = \emptyset$ alors $l := l - 1$

 sinon

 début

$l = -1$ // nous avons trouvé le premier plus grand sous-ensemble de R d'intersection de liste non vide //

$R^s := P/P^l$

$P := P^l$

$s := s + 1$

fin sinon
fin faire
n := n - 1
Fin Faire
FIN FAIRE

Annexe B : Présentation générale des RdPs

1. Introduction

En définissant un outil mathématique général pour l'étude de la communication automatisée, Carl Adam Petri³⁴ introduit en 1962 les « Réseaux de Petri ». Il s'agit d'un outil de modélisation et d'analyse très utilisé pour l'étude des systèmes à événements discrets (systèmes de production, protocoles de communication, etc.). Sa puissance de modélisation résulte de sa capacité à représenter d'une manière intuitive et naturelle les principaux mécanismes des systèmes à événements discrets : parallélisme, synchronisation et partage des ressources. Cependant, le modèle RdP autonome n'offre que des possibilités d'analyse qualitative. Afin de tenir compte explicitement du facteur temps, des extensions à ce modèle ont été proposées : les RdPs P-temporels et les RdPs T-temporels. Ces RdPs permettent ainsi de modéliser la plupart des contraintes temporelles intervenant dans le fonctionnement d'un système à événements discrets.

Nous allons commencer par présenter les RdPs autonomes en abordant quelques définitions mathématiques, puis graphiques permettant d'explicitier le fonctionnement de ces RdPs. Ensuite, nous allons focaliser notre attention sur les outils RdPs T-temporels que nous avons utilisés dans la modélisation du fonctionnement du bloc opératoire exposé au chapitre 5.

2. Le modèle RdP autonome

Un RdP autonome est un graphe biparti dont les nœuds sont des places et des transitions reliées par des arcs. L'ensemble des places est fini et non nul. De même, l'ensemble des transitions est fini et non nul. Les arcs sont orientés. Chaque arc relie une place à une transition ou une transition à une place. L'état d'un RdP est défini par le vecteur des marquages des places, noté M . Ce vecteur indique le nombre de marques (ou jetons) contenues dans chaque place. Les marques représentent des entités physiques, par exemple une personne, une voiture, un client.

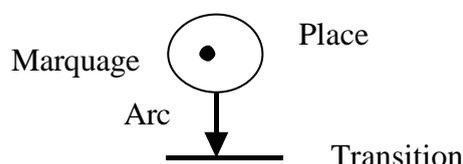


Figure 30 : Représentation d'un RdP

Les transitions et les places peuvent être interprétées de différentes manières selon l'objectif de modélisation assigné au RdP (voir tableau 36). Par exemple, une transition peut correspondre à une tâche (traiter une pièce), la place amont à une ressource demandée (machine libre) et la place aval à une ressource libérée.

Place amont	Transition	Place aval
Précondition	Événement	Postcondition
Donnée en entrée	Étape de calcul	Donnée en sortie
Ressources demandées	Tâche	Ressources libérées

Tableau 36 : Interprétation des places et des transitions d'un RdP [Limam, 1999]

³⁴ Thèse de doctorat : « Kommunikation mit automaten ». Soutenue à la faculté de Darmstadt, Bonn.

Un RdP autonome est formellement défini comme un quintuplet $R=(P, T, \text{Pré}, \text{Post}, M_0)$ où :

- $P = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\}$ est l'ensemble fini des places,
- $T = \{T_1, \dots, T_i, \dots, T_m\}$ est l'ensemble fini des transitions,
- Pré est l'application d'incidence avant, telle que :
 $\text{Pré} : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$,
 $(P_i, T_j) \rightarrow \text{Pré}(P_i, T_j) =$ le poids de l'arc reliant la place P_i à la transition T_j ,
- Post est l'application d'incidence arrière, telle que :
 $\text{Post} : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$,
 $(P_i, T_j) \rightarrow \text{Post}(P_i, T_j) =$ le poids de l'arc reliant la transition T_j à la place P_i ,
- M_0 est le marquage initial.

Grâce au marquage du RdP, on peut étudier le comportement dynamique du système modélisé. En effet, le comportement d'un RdP autonome est déterminé par l'évolution du marquage engendré par le franchissement des transitions. Une transition T_j d'un RdP autonome peut être franchie si chacune de ses places d'entrée P_i contient au moins un nombre de marques (ou jetons) égal à $\text{Pré}(P_i, T_j)$. Dans ce cas, on dit qu'elle est validée par le marquage du réseau. Le franchissement d'une transition T_j a pour conséquence le retrait d'un nombre de $\text{Pré}(P_i, T_j)$ marques de chacune de ses places d'entrée P_i et l'ajout d'un nombre $\text{Post}(P_k, T_j)$ marques dans chacune de ses places de sortie P_k .

Lorsque plusieurs transitions ont une place d'entrée commune, on dit qu'il y a un conflit structurel. Un conflit structurel devient effectif lorsque le marquage d'une place ne permet pas de franchir toutes ses transitions de sortie validées. Un conflit effectif introduit un non déterminisme concernant les transitions à franchir. Ce non déterminisme est éliminé en optant pour une politique de résolution de conflits en donnant par exemple une priorité à l'une des transitions validées.

On définit comme séquence de franchissements à partir d'un marquage M_p jusqu'à un marquage M_q , la suite des transitions T_i, T_j, \dots telles que le franchissement de chacune d'entre elles conduit à un marquage qui valide la suivante.

L'évolution d'un RdP autonome ne dépend que du marquage. Par conséquent, un RdP autonome permet de représenter uniquement le séquençement logique des événements qui interviennent dans le fonctionnement du système. Ces RdPs forment la classe des RdPs de base. Des extensions du modèle RdP autonome ont été définies pour représenter non seulement ce qui se passe, mais aussi quand cela se passe. Ces extensions permettent ainsi une représentation quantitative des comportements modélisés. Dans notre travail, nous nous sommes particulièrement intéressés au RdP T-temporel, que nous présentons par la suite.

3. Le modèle RdP T-temporel [Sava, 2001]

Le modèle RdP T-temporel a été introduit dans [Merlin et Faber, 1976] et [Berthomieu et Diaz, 1991] pour la modélisation et l'analyse des systèmes de communication. Cet outil est dérivé du modèle RdP autonome (dit RdP autonome sous-jacent) en associant un intervalle de temps $[a_j, b_j]$ à chaque transition T_j . Les notions de transition validée et transition franchissable ne sont plus équivalentes dans un modèle RdP T-temporel. Une transition T_j est validée par le marquage du RdP autonome sous-jacent. Par contre, elle peut être franchie seulement lorsqu'une durée comprise dans l'intervalle de temps lui est associé s'est écoulée depuis l'instant de sa validation.

Un RdP T-temporel est formellement défini comme un 6-uplet $(P, T, \text{Pre}, \text{Post}, M_0, I_s)$ où:

- $P = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\}$ est l'ensemble fini des places,
- $T = \{T_1, \dots, T_i, \dots, T_m\}$ est l'ensemble fini des transitions,
- Pré est l'application d'incidence avant,
- Post est l'application d'incidence arrière,

- M_0 est le marquage initial,
- $I_s : T \rightarrow Q \times (Q \cup \infty)$ est une fonction qui associe un intervalle de temps à chaque transition. Q représente l'ensemble des nombres rationnels positifs.

$$I_s(T_i) = [a_i, b_i]$$

$$a_i \leq b_i$$

$$0 \leq a_i < \infty$$

$$0 \leq b_i \leq \infty$$

L'intervalle $[a_i, b_i]$ est appelé intervalle statique de franchissement. Il modélise la contrainte temporelle imposée pour le franchissement de la transition T_i . L'origine de temps considérée pour la définition de cet intervalle est l'instant de validation de la transition T_i .

- a_i est l'instant de franchissement au plus tôt,
- b_i est l'instant de franchissement au plus tard.

L'état d'un RdP T-temporel est défini par le couple $S = (M, I)$ où :

- M représente le marquage du RdP autonome sous-jacent
- I est le vecteur des intervalles de franchissement. Chacun de ces éléments mémorise les dates possibles pour le franchissement d'une transition validée par le marquage. Une transition peut être franchie si les deux conditions suivantes sont vérifiées :
 - *Condition de marquage* : la transition doit être validée par le marquage du RdP autonome sous-jacent,
 - *Condition de temps* : une transition validée ne peut pas être franchie avant l'écoulement, depuis l'instant de sa validation, d'une période égale à son instant de franchissement au plus tôt. Par contre, elle doit être franchie avant une période de temps égale à son instant de franchissement au plus tard.

Ainsi les notions de transition validée et transition franchissable ne sont pas équivalentes dans le modèle RdP T-temporel. Une transition est validée si elle vérifie la condition de marquage. Une transition est franchissable si elle vérifie la condition de marquage. Elle est franchissable si les deux conditions sont vérifiées.

Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnancement des ressources dans les services de soins

RESUME

Le travail présenté dans cette thèse aborde le problème de la planification et de l'ordonnancement des ressources dans les services de soins. Nous avons commencé par recenser différents travaux qui ont porté sur l'un des aspects de ce problème. Cette revue de la littérature nous a permis d'opter pour une approche par processus de soins dans l'objectif de minimiser le délai de séjour du patient dans l'hôpital ainsi que les coûts de sa prise en charge, et ce dans le respect de la qualité des soins. Cette approche a été particulièrement illustrée dans le cas de processus de soins passant par un service de chirurgie.

Afin de tenir compte des aspects aléatoires, l'une des caractéristiques importantes de l'environnement hospitalier, nous avons proposé de traiter le problème de la planification et de l'ordonnancement des ressources suivant une structure hiérarchique qui porte sur quatre niveaux décisionnels. Le premier niveau porte sur la planification des admissions qui consiste à fixer les dates d'hospitalisation des patients pour une intervention chirurgicale. Cependant, la planification des admissions fournit au patient une date d'hospitalisation qui risque de ne pas être très fiable à cause de la possibilité d'occurrence de différentes perturbations. Nous avons ainsi proposé d'adopter un processus de confirmation des dates d'hospitalisation conformément au programme opératoire construit sur l'horizon de T jours. Le troisième niveau décisionnel consiste dans la construction du programme opératoire journalier. Cette construction est à double objectifs : d'une part, mettre à jour le programme opératoire établi sur l'horizon de T jours en intégrant les différents aléas qui ont pu avoir lieu dans la système de soins tel que le report d'interventions à cause d'admissions de cas urgents, non programmées à l'avance ; d'autre part, préciser l'ordre de réalisation des interventions en considérant les ressources critiques utilisées dans le processus opératoire. Ensuite, nous avons proposé une approche temps-réel pour aider au pilotage du bloc opératoire devant l'occurrence d'aléas nécessitant de repenser le programme opératoire journalier, en cours de réalisation. Parmi les différents types d'aléas auxquels doit faire face le système de soins, nous avons traité ici de près le cas de la prise en compte de l'urgence.

MOTS-CLES : aide à la décision, processus de soins, planification, affectation, ordonnancement, modélisation mathématique.

ABSTRACT

In this thesis we are interested with the planification and scheduling problem in healthcare systems. First, we have attempted to review different works dealing with the resource planning and scheduling problem in healthcare systems. This literature review permit us to opt for an approach based on the concept of healthcare process. The aim is to minimize patient length of stay as well as healthcare process costs while maintaining a good quality of service. This approach was particularly illustrated in the case of a healthcare process including a surgical stage.

In order to take into account perturbations, one of the important characteristics of the hospital environment, we propose to treat the planification and scheduling problem following a hierarchical structure comprising four decision-making levels. The first level is carried out by admission planning which consists in fixing patient hospitalization dates. However, the admission date given to a patient risks not being very reliable because of the occurrence of various perturbations. Henceforth, hospitalization dates are confirmed according to the operating planning constructed on the horizon of T days. The third decision-making level consists in constructing a daily operating schedule. This decision-making level has double objectives: (1) update the operating planning established on the horizon of T days while integrating various perturbations which occur in the healthcare system; (2) determine the order of intervention achievement by considering the critical resources used in the operating process. Then, we propose an approach for real-time piloting aid of operating theatre in front of the occurrence of perturbations requiring to rethink the daily operating schedule. Among the various types of perturbations, here we treat closely emergency admissions in the block.

KEY WORDS: decision making, healthcare process, planification, assignment, scheduling, mathematical modelling.
