



**HAL**  
open science

# Aide à la décision dans le pilotage des flux matériels et patients d'un plateau médico-technique

Sondes Hammami

► **To cite this version:**

Sondes Hammami. Aide à la décision dans le pilotage des flux matériels et patients d'un plateau médico-technique. Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2006. Français. NNT: . tel-00168328

**HAL Id: tel-00168328**

**<https://theses.hal.science/tel-00168328>**

Submitted on 14 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

préparée par

**Sondes HAMMAMI**

**Titre :**

**AIDE A LA DECISION DANS LE PILOTAGE DES FLUX MATERIELS  
ET PATIENTS D'UN PLATEAU MEDICO-TECHNIQUE**

*Directeur de thèse : M Pierre Ladet*

**JURY**

M.	Bernard DESCOTES-Genon	Professeur à l'INP de Grenoble,	Président
M.	Christian TAHO N	Professeur à UVHC de Valenciennes	Rapporteur
M.	Michel GOURGAND	Professeur à l'UBP de Clermont-Ferrand	Rapporteur
M.	Alain GUINET	Professeur a` l'INSA de LYON	Examineur
M.	Eric MARCON	Professeur à l'IUT de Roanne	Examineur
M.	Angel RUIZ	Professeur à l'université Laval au Canada	Examineur
Mme	Atidel HADJ ALOUANE	Maitre de Conférence à l'ENI de Tunis	Co-encadreur
M.	Pierre LADET	Professeur à l'INP de Grenoble,	Directeur de thèse

# Table de matières

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre 1. Le contexte</b>	<b>11</b>
<b>1 Les établissements de soins</b>	<b>11</b>
1.1 Présentation du contexte hospitalier	11
1.1.1 Le contexte français	11
1.1.2 Le contexte tunisien	12
1.2 Les particularités du contexte hospitalier	14
<b>2 Les modes de prise en charge dans le processus opératoire</b>	<b>15</b>
2.1 La chirurgie réglée en hospitalisation complète	15
2.2 La chirurgie ambulatoire	15
2.3 Les urgences	15
<b>3 Le plateau médico-technique (PMT)</b>	<b>16</b>
3.1 L'organisation du PMT	16
3.2 Les différentes phases du processus chirurgical	18
<b>4 Conclusion</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre 2. Présentation du problème</b>	<b>19</b>
<b>1 Les flux patients du PMT</b>	<b>19</b>
1.1 Un nombre de contraintes important	19
1.1.1 Les contraintes de ressources	19
1.1.2 Les heures d'ouverture du bloc opératoire	20
1.1.3 Le dimensionnement des services connexes	20
1.1.4 Les contraintes temporelles	20
1.2 Les perturbations	21
1.2.1 Les incertitudes	21
1.2.2 Les aléas	22
<b>2 Les flux matériels du PMT</b>	<b>22</b>
2.1 Les défaillances du système d'approvisionnement hospitalier	23

2.1.1	Les surcoûts de stockage	23
2.1.2	L'affectation du personnel soignant aux activités de soins	23
2.1.3	Les lieux de stockage	24
<b>3</b>	<b>Conclusion</b>	<b>24</b>
<b>Chapitre 3. Revue de littérature</b>		<b>25</b>
<b>1</b>	<b>État de l'art sur le pilotage des flux patients</b>	<b>25</b>
1.1	Le périmètre « établissement de soins »	26
1.2	Le périmètre « plateau médico-technique »	28
1.2.1	La construction d'une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération	29
1.2.2	La programmation centrée sur les salles d'opération et la salle de réveil	33
1.2.3	La programmation opératoire centrée sur les services hors bloc opératoire	34
1.2.4	La prise en compte des urgences	35
1.3	Conclusion	36
<b>2</b>	<b>Etat de l'art sur le pilotage des flux matériels</b>	<b>36</b>
2.1	Le périmètre « établissement de soins »	37
2.2	Le périmètre « plateau médico-technique »	41
2.3	Conclusion	42
<b>3</b>	<b>Etat de l'art sur l'interaction entre flux patients et matériels</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>43</b>
<b>Chapitre 4. La programmation opératoire</b>		<b>45</b>
<b>1</b>	<b>Le champ d'étude et les hypothèses</b>	<b>45</b>
<b>2</b>	<b>L'approche proposée</b>	<b>46</b>
2.1	L'approche prédictive	48
2.1.1	Programme linéaire pour la formation des groupes de chirurgiens	50
2.1.2	Programme linéaire pour la construction du plan directeur d'allocation PDA	53
2.1.3	Programme linéaire pour l'affectation des interventions	55
2.2	L'approche réactive	57
2.2.1	Recherche d'une solution au sein du groupe	58

2.2.2	Recherche d'une solution en recourant aux autres groupes	63
2.3	Étude de la robustesse de l'approche	64
2.3.1	Performance locale d'un ordonnancement	64
2.3.2	Performance globale de la solution proposée : algorithme hors ligne	64
2.3.3	Robustesse de la solution	64
2.4	Etude de la flexibilité	65
<b>3</b>	<b>Expérimentation</b>	<b>66</b>
3.1	Collecte des données	66
3.2	Construction du PDA	68
3.3	Comparaison des PDA	69
3.3.1	Indicateurs généraux	69
3.3.2	Robustesse	70
3.3.3	Flexibilité	76
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>78</b>
 <i>Chapitre 5. L'approvisionnement du bloc opératoire</i>		 <b>80</b>
<b>1</b>	<b>Le champ d'étude</b>	<b>80</b>
1.1	Le terrain observé	80
1.2	Le cas étudié	81
<b>2</b>	<b>Approches proposées</b>	<b>82</b>
2.1	Approche cyclique	83
2.1.1	Modélisation	84
2.1.2	Méthodes de résolutions : cas d'un seul bloc	86
2.1.3	Généralisation : cas de m blocs opératoires	93
2.2	Approche chaîne d'approvisionnement pour l'approvisionnement des blocs opératoires	96
2.2.1	Modélisation	97
2.2.2	Idée sur la complexité du modèle proposé	99
<b>3</b>	<b>Expérimentation</b>	<b>100</b>
3.1	Approche cyclique	100
3.1.1	Comparaison des trois méthodes de résolution	100
3.1.2	Variation des paramètres	105

3.2	Approche chaîne d'approvisionnement _____	107
3.2.1	Délai d'approvisionnement _____	107
3.2.2	Volume magasin bloc _____	110
3.2.3	Volume magasin central _____	111
3.3	Comparaison des deux approches _____	111
<b>4</b>	<b>Conclusion _____</b>	<b>113</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE _____</b>	<b>115</b>
<i>ANNEXE</i>	<i>118</i>	
<b>Annexe 1.</b>	<b>Prise en compte des aléas dans le contexte industriel _____</b>	<b>119</b>
<b>Annexe 2.</b>	<b>Tests effectués dans l'approche réactive _____</b>	<b>124</b>
<b>Annexe 3.</b>	<b>Approvisionnement dans le cas industriel _____</b>	<b>126</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE _____</b>	<b>129</b>

## Liste des figures

Figure 3-1. Plan directeur d'allocation des plages avec processus d'ajustement [Kharraja, 2004]	32
Figure 4-1. Approche prédictive	49
Figure 4-2. Approche réactive	58
Figure 4-3. Robustesse du PDA	65
Figure 4-4. PDA initial	66
Figure 4-5. Taux d'occupation moyen des salles d'opération (du 15/02/03 au 23/01/04)	70
Figure 4-6. Comparaison des deux PDA (% des interventions reportées)	71
Figure 4-7. Comparaison des deux PDA (% PDA non utilisé)	72
Figure 4-8. Pourcentage des interventions affectées aux plages communes	73
Figure 4-9. Taux d'exploitation des plages communes	74
Figure 5-1. Chaîne d'approvisionnement des blocs opératoires	81
Figure 5-2. La demande moyenne	83
Figure 5-3. Fonction $f_i$	88
Figure 5-4. Linéarisation de la fonction objectif	89
Figure 5-5. La demande dynamique	96
Figure 5-6. Intervalles d'approvisionnement du bloc 1	101
Figure 5-7. Intervalles d'approvisionnement du bloc 2	102
Figure 5-8. Quantités max allouées au magasin bloc 1	103
Figure 5-9. Coûts	104
Figure 5-10. Variation de délai d'approvisionnement	105
Figure 5-11. Variation volumes magasins blocs	106
Figure 5-12. Variation volume magasin central	107
Figure 5-13. Variation du délai d'approvisionnement (stock initial N0)	108
Figure 5-14. Variation du délai d'approvisionnement (stock initial N1)	108
Figure 5-15. Variation des niveaux de stock	109
Figure 5-16. Variation volumes magasins blocs	110
Figure 5-17. Variation volume magasin central	111
Figure 5-18. Coût stockage	112
Figure 5-19. Coût de manutention	112
Figure 5-20. Coût total	113

## *Liste des tableaux*

<i>Tableau 3-1. Processus principal de chaque sous-système d'un établissement de santé</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 4-1. Demande hebdomadaire par chirurgien</i>	<i>67</i>
<i>Tableau 4-2. Matrice A (cliques, chirurgiens)</i>	<i>67</i>
<i>Tableau 4-3. Nombre d'interventions par type par chirurgien</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 4-4. Durée des types d'interventions par chirurgiens (heure)</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 4-5. Groupes de chirurgiens formés</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 4-6. Performance des PDA</i>	<i>69</i>
<i>Tableau 4-7. Nombre d'interventions par scénarios</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 4-8. Performance locale</i>	<i>75</i>
<i>Tableau 4-9. Comparaison de la robustesse des deux PDA</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 4-10. Programme « permutation au sein du groupe »</i>	<i>77</i>
<i>Tableau 5-1. Idée sur la complexité du modèle mathématique</i>	<i>99</i>



## Liste des Encadrés

<i>Encadré 4-1. Programme non linéaire pour la formation des groupes de chirurgiens</i>	52
<i>Encadré 4-2. Programme linéaire pour la formation des groupes de chirurgiens</i>	52
<i>Encadré 4-3. Programme linéaire pour la construction du PDA</i>	55
<i>Encadré 4-4. Programme linéaire pour l'affectation des interventions</i>	57
<i>Encadré 4-5. Programme linéaire pour le recours aux plages banalisées</i>	61
<i>Encadré 4-6. Programme linéaire pour la permutation des chirurgiens du même groupe</i>	63
<i>Encadré 5-1. Modèle cyclique : cas de <math>m</math> blocs opératoires</i>	85
<i>Encadré 5-2. Modèle cyclique : cas d'un seul bloc</i>	86
<i>Encadré 5-3. Heuristique gloutonne dans le cas d'un seul bloc opératoire</i>	88
<i>Encadré 5-4. Programme linéaire obtenu par linéarisation de toute la fonction objectif</i>	89
<i>Encadré 5-5. Preuve</i>	90
<i>Encadré 5-6. Programme linéaire obtenu par linéarisation de toute la fonction objectif et en réduisant le nombre de contraintes et de variables de décision</i>	90
<i>Encadré 5-7. Programme linéaire suite à la linéarisation autour du vecteur optimal sans considération des contraintes.</i>	92
<i>Encadré 5-8. Heuristique gloutonne dans le cas de <math>m</math> blocs opératoires</i>	94
<i>Encadré 5-9. Programme linéaire obtenu par linéarisation de toute la fonction objectif : cas de <math>m</math> blocs opératoires</i>	94
<i>Encadré 5-10. Programme linéaire suite à la linéarisation autour du vecteur optimal : cas de <math>m</math> blocs opératoires</i>	96
<i>Encadré 5-11. Programme linéaire : Approche chaîne d'approvisionnement</i>	98

## INTRODUCTION GENERALE

---

L'hôpital exige de plus en plus des méthodes et des outils d'aide à la décision en vue d'optimiser son fonctionnement. L'objectif est d'apporter des gains significatifs en termes de qualité et de productivité à un secteur qui induit des coûts élevés et qui exige une qualité de haut niveau. Il est par conséquent capital pour les établissements de soins de faire porter l'effort sur la gestion, la planification et le pilotage de ce "système", d'évaluer également les performances des stratégies d'organisation, de gestion et de planification.

Le plateau médico-technique est une infrastructure qui comporte deux secteurs : les salles d'intervention et les salles de soins post-interventionnels (SSPI). Il est un des secteurs les plus importants des établissements de soins et ce selon trois points de vues : (1) il constitue la part technique la plus importante dans la majorité des hôpitaux du monde, (2) il concentre une part importante du budget de l'établissement pour son exploitation et (3) il représente le lieu de convergence des flux issus des différents services.

Conscient de ces enjeux, la Région Rhône Alpes a soutenu un réseau de réflexion et de recherche associant centres de soins et laboratoires spécialisés dans la conduite des systèmes de production de biens et de services. Il s'agit du programme HRP2 (Hôpitaux : Regroupement, Partage, Pilotage) qui se propose de chercher, sélectionner, concevoir et mettre à disposition des outils d'aide à la décision afin de supporter un projet de regroupement de plateaux médico-techniques ainsi qu'une organisation de pilotage des ressources humaines et matérielles mutualisées. Les travaux réalisés dans cette mémoire s'intègrent dans ce cadre s'intéressant à la logistique des flux patients et matériels des plateaux médico-techniques.

On distingue deux éléments dans la logistique des plateaux médico-techniques. La logistique classique s'intéresse à la gestion des flux matières. La logistique qui porte sur la gestion des flux patients est la logistique des services. Afin d'améliorer le service rendu au patient et de réduire les coûts, il serait intéressant d'aborder les deux logistiques.

Nous abordons ce thème par une présentation du contexte hospitalier. Le chapitre 1 introduit dans un premier temps les établissements hospitaliers dans deux contextes différents français et tunisien. Ensuite, nous précisons les particularités du contexte hospitalier par rapport au contexte industriel. Enfin, nous définissons le plateau médico-technique et présentons les différentes phases du processus chirurgical.

Le chapitre 2 positionne la problématique et limite notre champ d'étude. Notre intérêt porte sur les flux patients et matériels du plateau médico-technique. Nous analysons les différents problèmes rencontrés à partir d'une part, des stages effectués dans deux hôpitaux : la clinique Belledonne à Grenoble et l'hôpital Charles Nicoles à Tunis et d'autre part, des problèmes évoqués et traités dans la littérature.

Le chapitre 3 constitue un état de l'art sur le pilotage des deux flux : patients et matériels. Une revue de littérature et des études de terrain nous ont permis de définir les objets de notre étude. On conclut que les deux flux, patients et matériels, sont souvent traités indépendamment. La majorité des travaux ont porté sur la gestion des flux patients qui subit des perturbations multiples : incertitudes dans les données, aléas, etc. De ce fait, nous proposons une démarche hiérarchique flux patients- flux matériels. En supposant la disponibilité des ressources matérielles, nous proposons une approche permettant la construction d'un programme opératoire robuste et flexible permettant de faire face aux perturbations. Afin de valider cette hypothèse, disponibilité des ressources, nous traitons le

problème de l'approvisionnement du plateau médico-technique. Il s'agit de définir un plan d'approvisionnement permettant de répondre aux besoins du programme opératoire déjà défini. Le champ de notre étude se limite cependant aux dispositifs médicaux et consommables.

Le chapitre 4 présente une nouvelle approche pour l'établissement d'une programmation opératoire flexible et robuste. Il s'agit de former des groupes de chirurgiens. On affecte des plages individuelles à chacun des chirurgiens et des plages communes à chaque groupe de chirurgiens. Nous étudions la robustesse et la flexibilité de l'approche proposée.

Le chapitre 5 s'intéresse à l'approvisionnement du plateau médico-technique. Nous proposons deux approches : (1) approche chaîne d'approvisionnement et (2) approche cyclique. Nous cherchons à optimiser à la fois le coût de manutention et le coût de stockage. Les contraintes, la capacité limitée de stockage et non rupture de stock, sont prises en compte. La première approche permet d'approvisionner qu'en cas de besoin. La deuxième se base sur un approvisionnement périodique. Il s'agit de comparer les deux approches.

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

## Chapitre 1. Le contexte

Contrairement aux systèmes de production de biens qui ont connu une évolution dans leur mode de pilotage, les établissements de soins maintiennent un mode de pilotage artisanal. Toutefois dans cette dernière décade, les établissements de soins connaissent une mutation imposée par la tutelle et les usagers. Cela exige la mise en place d'un système de gestion efficace permettant d'améliorer ou de maintenir la qualité de soins et de minimiser les coûts induits.

Nous présentons deux contextes d'établissements de soins : le contexte tunisien et le contexte français, tous deux terrains de notre étude. Dans un second temps, nous décrivons le processus chirurgical et les ressources nécessaires pour son déroulement durant toutes ses phases. Enfin, nous présentons une ressource bien particulière du processus chirurgical : le plateau médico-technique.

### 1 Les établissements de soins

Notre étude de terrain a porté sur deux contextes différents : français et tunisien. Dans ce qui suit, nous présentons brièvement les établissements de soins dans les deux contextes hospitaliers. Ensuite, nous signalons les caractéristiques qui distinguent les établissements de soins des systèmes plus connus du monde industriel.

#### 1.1 *Présentation du contexte hospitalier*

##### 1.1.1 *Le contexte français*

En France, on distingue trois types d'établissements : établissements publics, établissements privés à but non lucratif et établissements privés à but lucratif. Héritage de l'histoire, les organisations de ces établissements diffèrent par leur mode de financement et par leurs objectifs différents. Aujourd'hui, on note une certaine forme d'équité dans le mode de financement des différents établissements grâce à la mise en place de la Tarification À l'Activité (T2A) dans tous les types d'établissements français. En effet désormais le financement des hôpitaux sera basé sur les activités qu'ils développent, en terme de volume et en terme de nature qui traduisent l'importance des ressources mobilisées pour leur réalisation [Trilling, 2005]. Les objectifs des différents types d'établissements ne sont pas les mêmes à la base et donc orientent fortement les différentes catégories d'établissements vers la spécialisation de l'activité, ce qui semble se confirmer dans l'organisation des plateaux médico-techniques [Baubeau, 2002].

Les établissements publics : sont placés sous la tutelle des Agences Régionales d'Hospitalisation ARH. Ils sont organisés en une hiérarchie d'établissement adaptés à la répartition de la France en régions : (1) les centres hospitaliers régionaux : CHR, (2) les centres hospitaliers de villes moyennes, et (3) les hôpitaux locaux. [Combes, 1994] précise que l'hôpital est organisé, généralement, en centres de responsabilités : chacun des centres médicaux, médico-techniques ou administratifs est dirigé par un responsable. Chaque centre

est divisé en unités fonctionnelles. Le secteur public est obligé d'accueillir tout malade. La recherche et l'enseignement font partie intégrante de sa mission [Chaabane, 2004].

Les établissements privés à but non lucratif : sont gérés par des organismes de sécurité sociale, des mutuelles. Ils ont le même mode de fonctionnement et les mêmes missions que les établissements publics.

Les établissements privés à but lucratif : sont gérés par des sociétés commerciales. Ils sont libres de fixer leurs prix et de choisir les activités qui leur semblent les plus rentables. De ce fait, le secteur public a orienté son activité vers les soins aigus, en particulier la chirurgie.

### 1.1.2 Le contexte tunisien

L'ensemble des soins préventifs, curatifs, palliatifs, de diagnostic et de réadaptation fonctionnelle, est produit dans des structures et établissements de soins et d'hospitalisation, publics et privés. Les structures sanitaires publiques sont habituellement classées en trois niveaux (ou trois lignes) :

1. Un niveau primaire (ou de première ligne) est constitué par les centres de santé de base et les hôpitaux de circonscription. Les centres de santé de base assurent des prestations sanitaires à caractère préventif et curatif, ainsi que d'éducation sanitaire, qui concernent notamment : le traitement des maladies courantes, la protection maternelle et infantile, y compris la planification familiale, la prévention et le contrôle des maladies transmissibles et contagieuses, notamment par la vaccination, les prestations de médecine préscolaire, scolaire et universitaire, etc. Les hôpitaux de circonscription, outre des attributions comparables aux centres de santé de base, dispensent des prestations de médecine générale, d'obstétrique et d'urgence. Ils disposent également de lits d'hospitalisation.
2. Un niveau secondaire (ou de deuxième ligne) est constitué par les hôpitaux régionaux, qui dispensent, outre les soins signalés pour les structures de première ligne, des soins spécialisés à caractère médical et chirurgical.
3. Un niveau tertiaire (ou de troisième ligne) est formé par les établissements sanitaires à vocation universitaire qui, tout en intégrant les attributions correspondant aux structures de première et deuxième lignes, ont pour missions principales la fourniture de soins hautement spécialisés, la formation universitaire et postuniversitaire des personnels de santé ainsi que le développement de la recherche en matière médicale, pharmaceutique et dentaire. La quasi-totalité de ces structures de troisième ligne ont le statut d'Etablissement Public de Santé (EPS), stipulé dans la loi d'organisation sanitaire et défini en détail dans un décret spécifique du 2 décembre 1991, conférant à ces établissements l'autonomie dans la gestion administrative et financière, à l'instar des entreprises publiques.

Une autre composante du secteur public, bien que souvent qualifiée de parapublique, est constituée par les centres de soins ambulatoires, relevant d'organismes publics, au profit de leurs affiliés ou salariés. Il s'agit principalement des polycliniques de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (CNSS).

Afin de se familiariser avec le milieu et avec les méthodes de gestion utilisées dans un établissement de santé dans différents contextes et de mettre en évidence ses particularités

pour en tenir compte dans une réflexion à venir sur un système d'aide à la décision pour la gestion des blocs opératoires, nous avons choisi comme terrain d'étude : (1) la clinique Belledonne, clinique privée de Grenoble en France et (2) l'hôpital Charles Nicoles, hôpital public à Tunis en Tunisie.

La clinique Belledonne est un établissement à but lucratif possédant 275 lits et places, dont 169 chirurgicaux. On y distingue 3 blocs opératoires : (1) le Bloc Doucourneau avec la chirurgie cardiaque, l'ophtalmologie, l'orthopédie, la neurochirurgie, le vasculaire, le pulmonaire, le pace maker, (2) le Bloc spécialités : la chirurgie de la main, ORL, abdominal, gynécologie, urologie, et (3) le Bloc maternité avec la gynécologie.

Charles Nicoles est un établissement public de santé créé en 1897 sous la dénomination de l'Hôpital Civil français. Il possède 1025 lits d'hospitalisation. Il est structuré en pavillons. On y distingue sept blocs opératoires : la chirurgie A, la chirurgie B, l'orthopédie, l'urologie, l'ophtalmologie, ORL et la chirurgie Maxillo-faciale.

Dans les deux contextes tunisien et français, on peut constater que généralement les établissements de soins, quelque soit leur type, sont organisés en centres de responsabilités : chacun des centres médicaux, médico-techniques ou administratifs sont dirigés par un responsable. Chaque centre est divisé en unités fonctionnelles. Chacune des unités réalise un type d'activité, et est rattachée à un service.

[Moison et Tonneau, 1999] classent la grande variété des unités en plusieurs secteurs :

1. *Les services cliniques* : Ce sont les lieux d'hébergement des patients. L'équipement général de ces services, qui consiste essentiellement en lits, est généralement faible.
2. *Les consultations* : Elles sont souvent incluses dans les services cliniques. Dans ce secteur, le service d'urgence a une place à part, puisqu'il traite les malades urgents nécessitant des soins immédiats. Comme les services cliniques, il s'agit d'unités peu technologiques.
3. *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. Ces unités travaillent pour les services cliniques et les consultations. Le plateau technique regroupe un plateau d'imagerie médicale, un plateau de biologie médicale et un plateau médico-technique.
4. *Le secteur logistique* : Il prend en charge l'hébergement des malades et effectue différentes tâches à destination des unités précédemment décrites. Il s'agit essentiellement de la restauration, de la blanchisserie et du transport des malades, de consommables, d'exams, etc.
5. *Le secteur administratif* : Il est composé de la direction générale, du service financier, du service du personnel, etc. L'équipe de la direction comprend couramment quelques dizaines de personnes, nombre assez faible par rapport à celui que nous trouvons dans les entreprises industrielles de même importance.

Notre intérêt porte sur le secteur : plateau technique, et plus particulièrement le secteur : plateau médico-technique. Ce dernier est un secteur coûteux, il s'avère intéressant de minimiser son coût tout en assurant une qualité de soins.

## 1.2 Les particularités du contexte hospitalier

Le système hospitalier est une organisation différente des organisations « classiques », entreprises industrielles et services. Il est caractérisé par :

1. l'hétérogénéité : celle-ci découle de la grande diversité des activités de l'établissement, relevant de différents métiers [Moisdon et Tonneau, 1999]. On distingue les activités de soins : chirurgie, anesthésie, infirmerie, radiologie, etc., les activités logistiques, les activités de restauration, etc.
2. le professionnalisme : l'activité de base des établissements est celle des médecins [Moisdon et Tonneau, 1999]. Chaque médecin sait ce qu'il doit faire non par le commandement, ni par un service de méthode, mais par un apprentissage continu. Les médecins, dans la majorité des centres de soins notamment dans les établissements privés, sont les maîtres de la situation. L'organisation doit répondre à leurs souhaits et aux contraintes qu'ils expriment parfois même de manière contradictoires.
3. une présence forte du facteur humain : le produit de ces établissements, « le patient », constitue une ressource primordiale et centrale. Les flux principaux d'un hôpital sont ceux des patients. Ces flux ont un caractère aléatoire fort, le traitement du patient dans sa succession d'actes ne peut être déterminé d'une façon déterministe. En effet, les traitements que doit suivre un patient sont prévus mais ne peuvent être confirmés dans leur nature et leur enchaînement qu'au fur et à mesure de l'évolution même des patients dans le système [Jebali, 2004]. De ce fait, [Combes, 1994] considère que chaque patient est une entité unique dans le système hospitalier. Ainsi, contrairement aux systèmes de production de biens, les notions de gammes et de nomenclatures n'apparaissent pas dans les systèmes hospitaliers [Combes, 2001].
4. une structure complexe : un hôpital est une structure particulièrement complexe à deux points de vue : (1) du point de vue fonctionnel : un établissement hospitalier n'est pas seulement un lieu de soins, mais également un hôtel et un restaurant, ce qui implique les services et les activités annexes correspondants, ainsi il regroupe des fonctions autres que les fonctions des soins, c'est le premier endroit d'emplois par excellence ; (2) du point de vue sociologique : un hôpital met en présence des types de populations aux situations diverses et aux intérêts très distincts. Si l'on ajoute à cela que tout établissement hospitalier public, du plus petit au plus grand assure une mission de service public au sens large du terme on se rend compte que la direction et la gestion d'un hôpital moderne ne sont pas chose aisée. En outre les établissements de soins sont des organisations hétérarachiques. Certes la structure paraît hiérarchique. Dans le haut, on trouve le directeur général. Ensuite, on trouve les services administratifs, les services de soins et consultations et le plateau médico-technique. Toutefois la distribution des pouvoirs n'est pas hiérarchique au sens simple du terme. Différentes décisions peuvent être prises sans recours au niveau hiérarchique supérieur.

Au-delà de l'organisation interne de l'établissement, les agences régionales de l'hospitalisation (ARH) préconisent le travail en réseau et des rapprochements entre les centres de santé. « Un réseau de santé constitue une forme organisée d'action collective apportée par des professionnels en réponse à un besoin de santé des individus et/ou de la population, à un moment donné, sur un territoire donné. Le réseau est transversal aux institutions et aux dispositifs existants. » Le travail en réseau permet d'une part de rationaliser

l'offre de soins, et d'autre part, de simplifier l'accueil des patients [Lebrun, 2004]. Ainsi les regroupements ont pour but de diminuer les coûts (économie d'échelle), de faciliter les investissements (plateau technique), de rendre plus attractif les centres de santé. L'agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES) vise à éclairer la démarche évaluative des réseaux de façon pragmatique et à anticiper sur les conditions d'accréditation des réseaux à partir de l'observation des pratiques de terrain.

## **2 Les modes de prise en charge dans le processus opératoire**

[Chaabane, 2004] distingue deux cheminements de patients : (1) le cheminement chirurgical et (2) le cheminement non chirurgical. Pour chaque cheminement, on note une variété de chemins possibles. Nous nous intéressons au cheminement chirurgical. Ce dernier représente un coût important parce qu'il nécessite l'utilisation de ressources coûteuses, notamment du plateau médico-technique. Nous distinguons différents modes de prise en charge d'un patient nécessitant une intervention chirurgicale et différentes phases du processus chirurgical.

Nous distinguons trois modes de prise en charge des patients subissant des interventions chirurgicales :

### ***2.1 La chirurgie réglée en hospitalisation complète***

Il s'agit d'une chirurgie pour laquelle le patient nécessite une hospitalisation en unité de soins. Dans ce cas, le processus opératoire démarre par la consultation chirurgicale préopératoire qui donne ensuite lieu à une consultation anesthésique. Avec l'accord du chirurgien et du médecin anesthésiste, on programme l'intervention chirurgicale du patient. La veille ou le matin de l'intervention, le patient est accueilli dans une unité d'hospitalisation, où il est préparé à recevoir l'intervention (soins d'hygiène, prémédication, etc.). Le patient est ensuite acheminé par des brancardiers de l'unité au plateau médico-technique, où il est accueilli et transféré en salle [Trilling, 2005].

### ***2.2 La chirurgie ambulatoire***

Est l'ensemble des actes chirurgicaux ou d'explorations, programmés et réalisés dans les conditions techniques nécessitant impérativement la sécurité d'un bloc opératoire, sous une anesthésie de mode variable et suivie d'une surveillance post-opératoire en salle de réveil, permettant sans risque majoré la sortie du patient le jour même de son admission [ANAES, 1997]. [Assurance Maladie, 2003] met l'accent sur le potentiel de développement de la chirurgie ambulatoire et sur les gains potentiels de cette pratique.

### ***2.3 Les urgences***

Il s'agit de patients nécessitant une intervention chirurgicale urgente, non inscrite dans le programme prévisionnel. On classe les urgences selon leur admission et leur degré d'urgence.

On distingue entre les urgences internes et les urgences externes. Les patients provenant soit d'une unité d'hospitalisation (cas d'un malade déjà opéré présentant des complications postopératoires), soit de la réanimation, soit du service d'accueil des urgences, représentent les urgences internes. Les patients qui n'étaient pas déjà dans l'établissement et qui se sont présentés spontanément ou ont été amenés par des ambulances, représentent les urgences externes.



Selon la pathologie et la gravité de l'état du patient, on distingue différentes classes d'urgences. On peut affecter un degré pour chaque classe [Dexter et *al.*, 2001b] :

1. degré 3 : ce sont les urgences vitales, les cas les plus urgents, pour lesquels une attente avant d'intervenir n'est pas permise. L'insertion du cas dans le programme doit être immédiate, ce qui peut provoquer la remise en cause du programme opératoire.
2. degré 2 : il s'agit des cas urgents qui doivent être opérés le jour de leur arrivée (*urgent case*), et qui sont généralement placés en fin de programme (première salle libre) et ne causent pas de modifications dans le programme établi.
3. degré 1 : il s'agit des cas urgents qui peuvent supporter d'attendre une journée avant de subir l'intervention (*elective case*). Celle-ci est insérée dans le programme opératoire du lendemain et peut amener à reporter d'autres interventions programmées.
4. degré 0 : les patients peuvent attendre quelques jours avant d'être opérés, mais dans la semaine en cours.

### 3 Le plateau médico-technique (PMT)

La ressource goulot et la plus coûteuse du processus chirurgical est le bloc opératoire ou plateau médico-technique PMT, du fait qu'il exige le recours à des nouvelles technologies indispensables face à la concurrence. Actuellement, les nouvelles pratiques chirurgicales s'orientent vers la réduction de la durée de séjour. Autrefois, la perte engendrée par le bloc opératoire était compensée par le financement en jours d'hospitalisation. Aujourd'hui ce n'est plus le cas [Rossi-Turck et *al.*, 2004].

[Kharraja, 2004] différencie le PMT et le bloc opératoire. Il schématise le bloc opératoire à travers deux secteurs, le premier correspondant à l'ensemble des salles opératoires, le second à la salle de réveil. Dans ce schéma, chaque spécialité possède un bloc opératoire. Une fois l'intervention achevée, le patient est transféré en salle de soins post interventionnels (SSPI), dite salle de réveil. Jugé apte par le médecin anesthésiste à être transféré, le patient peut quitter la SSPI. Les PMT quant à eux regroupent sur un même site géographique l'ensemble des blocs opératoires de spécialité (Orthopédie, ORL, Chirurgie Générale, etc.) ainsi que les salles opératoires, l'urgence, la chirurgie de jour, les services d'endoscopie, la radiologie et les salles de soins post-interventionnels (SSPI) [HRP2, 2004].

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

On suppose, par la suite de ce document, que le bloc opératoire et le plateau médico-technique désignent les deux une infrastructure qui comporte deux secteurs : les salles d'intervention et les salles de soins post-interventionnels (SSPI). Les salles d'intervention peuvent être de nature chirurgicale, obstétricale ou exploratoire.

#### 3.1 L'organisation du PMT

La question qui se pose est de savoir comment le PMT est organisé afin de répondre aux différents modes de prise en charge : chirurgie réglée, chirurgie ambulatoire et les urgences. On distingue différentes configurations architecturales :

1. séparation des trois modes de prise en charge : cette première configuration consiste à concevoir pour chaque mode son propre PMT. On distingue :
  - a. Le bloc opératoire dédié aux urgences : le bloc d'urgence est séparé du reste du plateau médico-technique ; il est consacré uniquement à la prise en charge des urgences chirurgicales. Des équipes médicales et soignantes complètes sont affectées à cette structure. Les ressources humaines et matérielles ne sont pas mutualisées. En priorité ce bloc accueille les urgences vitales.
  - b. Le bloc opératoire dédié à la chirurgie réglée : [Trilling, 2004] distingue trois configurations possibles de ce bloc :
    - i. Plateau pluridisciplinaire unique (monosite) où toutes les spécialités sont regroupées dans un plateau pluridisciplinaire formant un seul site et se partagent un ensemble de ressources qui peut aller de la salle de réveil aux salles d'opération et au personnel.
    - ii. Plateau pluridisciplinaire et blocs de spécialité (multisites) où certaines spécialités sont regroupées sur un site tout en se partageant des ressources, d'autres spécialités conservant leur indépendance.
    - iii. Blocs de spécialité (multisites) où chaque spécialité fonctionne de manière autonome et indépendante, avec ses ressources propres et sa gestion propre.
  - c. Le bloc opératoire dédiée à la chirurgie ambulatoire : dans ce type de bloc, on ne trouve que la chirurgie ambulatoire. On distingue deux types selon la nature de l'activité et les modalités de leur organisation [Massip, 2001] : (1) les centres indépendants, détachés des établissements de soins qui ont un fonctionnement autonome, et (2) les centres satellites qui ont un fonctionnement indépendant et une activité généraliste pluridisciplinaire recouvrant l'ensemble des spécialités allant parfois de l'endoscopie digestive à la chirurgie ophtalmologique.
2. Intégration de deux ou trois modes de prise en charge : cette deuxième configuration consiste à intégrer dans un même PMT deux ou trois modes de prise en charge. On peut regrouper la chirurgie réglée et la chirurgie ambulatoire dans un même site. En général, les salles d'opération sont communes aux deux types d'activité ambulatoire et traditionnelle. On peut également regrouper la chirurgie réglée et les urgences dans un même site. Dans ce cas, on distingue deux modes de fonctionnement :
  - a. Des salles d'urgence intégrées au plateau médico-technique où on rencontre souvent deux à trois salles d'urgence intégrées au plateau médico-technique. Chaque jour, des ressources humaines (infirmières et médecins anesthésistes) et matérielles (salles d'opération) sont maintenues disponibles pour l'accueil des urgences. [Trilling, 2004] met l'accent sur la flexibilité d'une telle configuration. En effet, on se permet d'utiliser les ressources réservées pour les urgences, et dans le cas de disponibilité des salles de la chirurgie réglée, on peut orienter les urgences dans des salles mieux équipées pour ce type d'intervention.
  - b. Des salles mixtes chirurgie réglée/d'urgence : le plateau médico-technique (mono ou multi site) ne possède pas de salles d'opération d'urgence. Dans ce cas, les urgences sont insérées dans le programme opératoire et impliquent un réordonnancement des interventions en fonction des priorités.

Il serait possible également d'intégrer les trois modes de prise en charge dans un même site. Dans ce même site, on peut dédier des salles aux urgences et d'autres à la chirurgie ambulatoire. Il serait possible d'imaginer que les salles d'opération soient utilisées pour les trois modes de prise en charge sans aucune affectation prédéterminée.

### 3.2 Les différentes phases du processus chirurgical

Autour du plateau médico-technique, entre l'entrée du patient et sa sortie, on distingue trois phases dans le processus chirurgical : (1) la phase préopératoire, (2) la phase per-opératoire et (3) la phase post-opératoire. La phase préopératoire correspond au processus entre l'entrée du patient dans l'établissement de soins et l'entrée au plateau médico-technique. Le processus dépend du mode de prise en charge. La phase per-opératoire correspond au processus déclenchant entre l'entrée et la sortie du patient du plateau médico-technique. Cette phase est la même quel que soit le mode de prise en charge. Elle comprend : l'induction, l'acte chirurgical et le réveil du patient. Les deux premières activités auront lieu dans la salle d'opération. La troisième activité aura lieu dans la salle de réveil. La phase post-opératoire va de la sortie du patient du plateau médico-technique à sa sortie de l'établissement de soins. Les activités de cette phase dépendent du mode de prise en charge du patient et de son état à l'issue de l'intervention [Trilling, 2004]. Dans le cas d'une chirurgie ambulatoire, le patient n'a besoin que du lit ambulatoire. Dans le cas de la chirurgie réglée ou d'urgence, si l'intervention s'est déroulée sans complication, le patient aura besoin d'un lit d'hospitalisation, sinon, il sera transféré au service de soins intensifs.

## 4 Conclusion

L'organisation des hôpitaux diffère radicalement du monde industriel. Il est caractérisé par la multitude de fonctions, de trajectoires, de secteurs et de flux, par une présence forte du facteur humain, par la décentralisation des décisions. Cet environnement assez complexe exige un effort considérable pour le pilotage et la synchronisation des différents flux. Des études montrent que les coûts induits par le plateau médico-technique sont liés essentiellement à l'exploitation des salles d'opération. La performance du bloc opératoire ne dépend plus uniquement de la compétence des chirurgiens mais aussi de l'aptitude à gérer les flux patients, matières, etc. [Rossi-Tuck *et al.*, 2004].

Dans le chapitre 2 nous présentons les deux flux, patients et matériels, qui caractérisent le plateau médico-technique, les problèmes rencontrés lors du pilotage de ces flux et l'objet de la présente étude.

## Chapitre 2. Présentation du problème

L'organisation du PMT constitue, dans tous les établissements de santé un sujet de préoccupation. C'est le secteur où les ressources, particulièrement matérielles (équipements, fournitures, instruments), sont abondantes [Parent *et al.*, 2001]. L'amélioration de la performance du PMT n'est plus basée sur la performance technique des actes chirurgicaux mais également des activités logistiques qui les soutiennent [Rossi-Tuck *et al.*, 2004].

Ce chapitre fait l'objet d'une présentation des caractéristiques des deux flux patients et matériels. La littérature et l'étude de terrain nous permettent d'énumérer quelques dysfonctionnements dans les modes de pilotage des flux patients et matériels.

### 1 Les flux patients du PMT

L'ensemble des flux patients provenant des différents services de chirurgie converge vers le PMT. Afin de gérer ces flux, une programmation opératoire est établie. Il s'agit de dresser la liste des patients et leur ordre de passage dans chaque salle d'opération, et éventuellement dans la salle des soins post-intervention.

Un programme opératoire est un outil de gestion qui consiste à planifier les interventions chirurgicales qui doivent avoir lieu dans un bloc opératoire sur une période variable d'une journée à une semaine. Le problème de la planification des blocs opératoires peut se modéliser comme un problème hebdomadaire d'affectation des interventions aux salles opératoires et d'un problème journalier d'ordonnancement des interventions du bloc opératoire.

Pour établir un programme opératoire correct, le programmeur a besoin de connaître le circuit emprunté par le patient, le circuit d'informations accompagnant le patient, les intervenants nécessaires selon les interventions et les habitudes, et les durées des actes. Ainsi, la programmation opératoire est une tâche difficile étant donnée les problèmes que le programmeur peut rencontrer.

A partir de la littérature et de l'étude de terrain que nous avons effectuées au sein de la clinique Belledonne nous avons relevé les problèmes suivants :

#### 1.1 Un nombre de contraintes important

La présence d'un nombre important de contraintes qui doivent être prises en compte, constitue une difficulté lors de la construction du programme opératoire.

##### 1.1.1 Les contraintes de ressources

Dans les salles d'opération, chaque patient doit recevoir une procédure d'anesthésie, une procédure chirurgicale et une procédure de réveil. Généralement, les exigences des procédures anesthésie et réveil sont plus flexibles : un médecin anesthésiste peut intervenir dans tout type

d'intervention chirurgicale, alors que les ressources de la procédure chirurgicale sont peu flexibles. Cette dernière peut nécessiter, selon l'état du patient, un chirurgien spécialisé et des équipements particuliers telle qu'une salle d'opération septique, etc. S'il manque l'une des ressources telle qu'une prothèse, une intervention peut être reportée.

### 1.1.2 Les heures d'ouverture du bloc opératoire

Les heures d'ouverture du bloc opératoire sont limitées. Nous distinguons les heures ouvertes et les heures supplémentaires. Les heures ouvertes doivent respecter les horaires du personnel, alors que les heures supplémentaires, limitées par la législation du travail, sont des heures en dehors des horaires du personnel et doivent être payées.

### 1.1.3 Le dimensionnement des services connexes

Le dimensionnement des services connexes (service d'hospitalisation, service de soins intensifs, salle de réveil) influe sur la programmation opératoire :

- Lits de la salle de réveil : un bloc opératoire ayant 14 salles d'opération et seulement 6 lits dans la salle de réveil rend la tâche de programmation difficile. C'est le cas de l'hôpital de Sfax en Tunisie. Un patient sera bloqué dans la salle d'opération jusqu'à disponibilité d'un lit dans la salle de réveil.
- Service d'hospitalisation : faute de lits dans un service d'hospitalisation, un patient déjà planifié pour une date donnée, ne peut pas être accepté et sera reporté à une date ultérieure. Ceci perturbe le fonctionnement du bloc et dégrade l'image de la clinique.
- Salle de réanimation : les patients subissant une intervention cardiaque restent au maximum deux jours dans la salle de réanimation. S'il manque un lit dans le service d'hospitalisation, un patient peut rester un jour en plus dans la réanimation. Ceci limite le passage dans le bloc opératoire de patients qui nécessitent un lit dans le service de réanimation.

Ainsi, la recherche d'un programme opératoire performant doit s'accompagner d'une rationalisation du fonctionnement du bloc et d'un dimensionnement adéquat des ressources connexes [Kharraja *et al.*, 2002].

### 1.1.4 Les contraintes temporelles

Dans la clinique Belledonne, le service ambulatoire est ouvert jusqu'à 19h30. Un patient de chirurgie ambulatoire doit rester 6h dans ce service après l'intervention chirurgicale. Ainsi tout patient de chirurgie ambulatoire doit être opéré au plus tard à 13h30. Lors de la programmation opératoire, on doit tenir compte des contraintes supplémentaire de la chirurgie ambulatoire. Sinon, la clinique est obligée d'affecter à ce patient un lit d'hospitalisation pour une journée.

En cas de la chirurgie programmée, le patient doit subir une visite pré anesthésie 48h avant la date de l'intervention chirurgicale. Deux heures avant l'heure de l'intervention chirurgicale, le patient doit être préparé dans le service d'hospitalisation. Ainsi l'ordre de passage des patients est important afin d'ordonner la préparation des patients. Un désaccord entre le responsable du bloc et le chirurgien sur l'ordre de passage des patients bouleverse souvent le fonctionnement du bloc opératoire. On serait obligé d'attendre la préparation d'un autre patient. Le temps d'attente sans utilisation du bloc constitue un coût supplémentaire de l'établissement.

## 1.2 Les perturbations

Les perturbations constituent le deuxième type de difficulté de construction d'un programme opératoire. [Rossi, 2003] distingue deux types de perturbations : les incertitudes et les aléas. Les incertitudes sont les imprécisions qui affectent les mesures physiques et les erreurs qui découlent de la différence entre l'estimation prévisionnelle d'une grandeur et sa valeur effective. Les aléas sont les événements de type discret qui entraînent des modifications dans le modèle lui-même.

### 1.2.1 Les incertitudes

Les durées des activités dans l'intervention chirurgicale sont non déterministes autant dans les salles d'opération que dans les salles de soins post-intervention. Pour une même intervention, la durée nécessaire pour réaliser un acte est variable en fonction de l'état du patient, de l'expérience et de la compétence de l'équipe chirurgicale et éventuellement des complications pouvant survenir lors de l'intervention. Il en est de même pour le temps de séjour en SSPI, qui varie en fonction de la nature et de la technique de l'anesthésie, de la durée de l'intervention, de l'état du patient, etc. Toutefois, nous ne disposons pas de données historiques permettant de prévoir les durées opératoires. Il n'existe pas dans les hôpitaux de système capable de collecter et de traiter les informations concernant les différents temps opératoires. Ces derniers sont estimés par les chirurgiens en se basant sur leur expérience.

Dans ce contexte incertain, et afin de déterminer les durées des interventions, des systèmes d'information et d'exploitation des salles d'opération sont actuellement commercialisés tel que OPERA<sup>1</sup>. Ce dernier permet de calculer une durée moyenne des interventions. Des travaux ont standardisé les durées des interventions et le séjour en SSPI. [Dexter et Macario, 1996] supposent que les durées suivent une loi log normale. Dans le même cadre, les travaux menés au sein du projet de recherche HRP<sup>2</sup>, ont conduit à proposer des modèles statistiques de représentation des durées d'intervention et de temps de séjour en SSPI suivant plusieurs critères à savoir, nature de l'intervention, expérience du praticien, etc. Dans ce cadre, [Dussauchoy et Combes, 03] ont étudié le vecteur aléatoire  $T=[T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7]$  constitué par les durées des différentes activités liées aux interventions chirurgicales.  $T_1$  (Trajet),  $T_2$  (Prise en charge),  $T_3$  (Induction),  $T_4$  (Posture),  $T_5$  (Durée opératoire),  $T_6$  (Réveil),  $T_7$  (Séjour SSPI) et  $T_0$  : Séjour Salle d'opération, avec  $T_0 = T_3+T_4+T_5+T_6$ . A travers, l'analyse en composantes principales, les auteurs ont déduit qu'il suffit d'étudier le vecteur  $T'=[T_2, T_5, T_7]$  représentatif à environ 90% aussi bien dans le cas des données globales que dans le cas des données issues d'un groupe d'actes chirurgicaux. A partir d'échantillons de plusieurs hôpitaux, les auteurs montrent que ces durées peuvent être bien approchées par des lois de Pearson de type III.

Ainsi les études effectuées dans différents établissements de soins n'aboutissent pas à une même loi probabiliste des durées opératoires. La question qui se pose est de savoir si chaque établissement doit vérifier la loi probabiliste que suivent les durées opératoires, ou si on peut normaliser la loi probabiliste pour tous les établissements.

Le chemin du patient est imprécis. La destination d'un patient opéré peut être la salle de réveil ou la salle des soins intensifs et de réanimation. Tout dépend de l'évolution de l'état du

<sup>1</sup> Logiciel OPERA, commercialisé par la société CHCA (Laval) Québec Canada.info@chca.ca

<sup>2</sup> « Hospital Resource Planning ». Programme de recherche thématique soutenu par la Région Rhône- Alpes.

patient. Devons-nous affecter ce patient à un lit de la salle de réanimation ou à un lit de la salle de réveil ? Le chemin imprécis du patient, dépendant de son état, peut mettre en cause la programmation opératoire.

### 1.2.2 Les aléas

L'état du patient peut se dégrader juste avant l'intervention. Un patient programmé, subissant un malaise vagal, peut avoir un arrêt cardiaque. Le chirurgien sera obligé de reporter l'intervention. Ceci perturbe le fonctionnement du bloc opératoire.

Une étude effectuée dans un centre hospitalier québécois a montré que les urgences constituent le type de perturbation qui cause le plus de modifications au programme opératoire [Lafon et Landry, 2001].

## 2 Les flux matériels du PMT

[Cettour-Baron *et al.*, 1999 ; Chow et Heaven, 1994] définissent la logistique hospitalière «comme un processus comportant un ensemble d'activités de conception, de planification et d'exécution permettant l'achat, la gestion des stocks et le réapprovisionnement des biens et des services entourant la prestation de services médicaux aux patients »,

Cette définition traduit le lien entre les différents secteurs liés à la trajectoire du patient et ceux qui leur servent d'appoint et de support pour le fonctionnement optimal de l'établissement hospitalier et l'amélioration de la satisfaction du patient [Kharraja, 2004]. Notre intérêt porte sur la gestion des flux matériels du bloc opératoire.

Les hôpitaux, dans l'objectif est de garantir la disponibilité des produits à tout moment, ont augmenté leur niveau de stock. Ceci est justifié par la loi de 1960 sur l'obligation d'un mois de stock de produits. Dans ce contexte, la logistique hospitalière classique est restée embryonnaire durant de très nombreuses années. Mais depuis une vingtaine d'années, les restrictions budgétaires tendent à la faire évoluer [AS GHC, 2003].

[Rossi-Tuck *et al.*, 2004] regroupe les fournitures du bloc opératoire en quatre classes :

1. le stérilisable ou l'ensemble des articles qui peuvent être réutilisés,
2. leposable ou articles à usage unique,
3. les médicaments,
4. le matériel spécifique tels que prothèses.

La gestion de matériels stériles ainsi que spécifique nécessite une gestion à part. Au niveau stratégique, il s'agit de centraliser ou décentraliser, externaliser ou internaliser la stérilisation. Au niveau tactique, la question est de savoir comment panifier l'activité de stérilisation. Le matériel spécifique tels que prothèses fait le plus souvent l'objet d'une gestion à part vu le coût particulièrement élevé de ces fournitures. Notre étude porte plus particulièrement sur lesposables et les médicaments.

[Chow et Heaven, 1994] estiment que les coûts liés aux activités de la logistique représentent 46% des dépenses de l'hôpital. On identifie trois grandes activités liées à la logistique hospitalière classique :

1. L'approvisionnement : qui regroupe les achats, la réception et la gestion des stocks des différentes fournitures. Cette fonction est qualifiée d'acteur responsable des activités logistiques.

2. La production : qui regroupe les différentes « activités de transformation » telles que la restauration, la stérilisation, etc.
3. Le réapprovisionnement : qui concerne l'acheminement des différents produits des zones d'entreposage aux différents points d'utilisation ou le transport des déchets aux quais d'expédition.

Les coûts d'approvisionnement et de réapprovisionnement représentent entre 30% et 40% des dépenses annuelles d'un hôpital [Colleti, 1994]. L'approvisionnement en lui-même engendre un peu plus de 20% des dépenses d'un centre hospitalier [Kowaleski *et al.*, 1993]. De ce fait, l'activité logistique d'approvisionnement participe à notre objectif.

## ***2.1 Les défaillances du système d'approvisionnement hospitalier***

[Sampieri-Tessier, 2004] énumère les défaillances dans les établissements français publics : (1) les surcoûts de stockage : trois mois de stock pour l'hôpital Laennec à Paris-Ducasse en 1995 ; (2) la multiplication des lieux de stockage : encombrement, risque de pertes, etc. ; (3) la mauvaise qualité du stock : péremption, rupture, etc. et enfin (4) l'affectation du personnel soignant aux activités logistiques : le temps consacré aux activités logistiques est évalué à 10% du temps du personnel soignant. A travers d'une part les observations effectuées au sein de la clinique de Belledonne ainsi qu'à l'hôpital Charles Nicoles, et d'autre part à partir de la littérature, nous avons relevé les dysfonctionnements suivants.

### *2.1.1 Les surcoûts de stockage*

[Jobin *et al.*, 2004] ont mené une enquête exploratoire afin de présenter un cadre de mesure de la performance pour les activités de logistique hospitalière des centres hospitaliers québécois. On en déduit que la logistique hospitalière mesure peu les aspects de la performance qui sont liés à la satisfaction de la clientèle et négligent la maîtrise des coûts du processus de la logistique. Ce déséquilibre est particulièrement flagrant en ce qui concerne l'approvisionnement. Les stocks laissés aux unités de soins ne sont pas toujours calculés. Les comptables considèrent dans certains cas que ces produits et fournitures seront inévitablement « consommés », même si leurs périodes de stockage peuvent être très importantes, et ils ne procèdent qu'à un décompte administratif au niveau des entrées et sorties du magasin central. Cette manière de faire peut fausser la performance réelle des activités de réapprovisionnement.

### *2.1.2 L'affectation du personnel soignant aux activités de soins*

[L'équipe TRIAX, 2003] montre qu'il existe une pénurie du personnel de soins, tant à l'échelle locale qu'internationale. Aux Etats-Unis, les besoins en personnel infirmier atteignaient 126 000 personnes en 2000. Les projections pour l'année 2020 estiment le manque d'infirmières à 434 000, selon une conférence présentée devant l'association AHRMM 2002. Selon le rapport du Comité consultatif canadien sur les soins infirmiers (2020), la pénurie de personnel infirmier pour l'ensemble du pays représentait environ 16 000 personnes. Des études ont montré que le personnel de soins consacre à l'exécution des activités logistiques environ 10% du temps total de son travail alors que les systèmes de soins sont à la recherche d'infirmières pour accomplir les activités de soins.



Dans les deux établissements, clinique de Belledonne et hôpital Charles Nicoles, les infirmières décomptent les fournitures du bloc, passent les commandes, vérifient les entrées dans le magasin central, transportent les commandes du magasin central au magasin bloc, rangent les fournitures dans le magasin bloc et les salles d'opération.

### 2.1.3 Les lieux de stockage

Dans la clinique Belledonne, nous distinguons différents lieux de stockage des matériels du bloc opératoire : le magasin central, le magasin du bloc, les salles d'opération, les couloirs du bloc opératoire. Cette multiplication des aires de stockage gonfle les stocks, complique le processus de préparation, augmente le nombre de déplacements à effectuer par le personnel infirmier et rend difficile toute gestion rationnelle des niveaux de stock (oubli de matériels et dégradation de la qualité des matériels) [Rossi-Tuck *et al.*, 2004]. On note également un espace insuffisant d'entreposage dans les systèmes de soins (magasin central et magasins blocs).

On trouve également des problèmes d'approvisionnement rencontrés déjà dans le secteur industriel, à savoir la sélection des fournisseurs. Dans l'hôpital Charles Nicoles de Tunis, le fournisseur se trouve parfois en rupture de stock. Ceci perturbe le fonctionnement des blocs opératoires et oblige le personnel à chercher des substituts, si c'est possible. Dans la clinique Belledonne, chaque chirurgien a son propre fournisseur. Ceci complique énormément l'activité d'approvisionnement.

## 3 Conclusion

Les deux flux patients et matériels sont interdépendants. La disponibilité des flux matériels assure le bon fonctionnement du programme opératoire (flux patients). Ceci nécessite une synchronisation efficace des deux flux. Les flux patients connaissant des multiples perturbations, liés à la nature aléatoire de l'être humain ainsi qu'au PMT, nécessite une programmation robuste et flexible permettant d'absorber les aléas. Le surcoût de stockage engendre des coûts de stockage énormes. L'affectation du personnel paramédical aux activités logistiques influent sur la qualité de soins. Ceci exige une meilleure organisation dans le pilotage des flux matériels.

Le chapitre 3 présente une grille de littérature sur le pilotage des flux patients, pilotage des flux matériels et le pilotage synchronisé des deux flux.

## Chapitre 3. Revue de littérature

[Mathe, 1997] distingue deux éléments dans la logistique des activités de service : (1) la logistique classique : c'est la gestion des flux matières nécessaires au service et qui a pour objectif de livrer le bon produit au bon moment, au bon endroit et avec une bonne qualité tout en cherchant à limiter les coûts ; et (2) la logistique des services : c'est la gestion des flux clients et en agissant simultanément sur la demande et les capacités et qui arbitre entre le temps d'attente des clients et l'optimisation des capacités.

Ce chapitre présente une revue de littérature sur d'une part, la logistique des services : pilotage flux patients et la logistique classique : pilotage des flux matériels des systèmes de soins et d'autre part, sur la synchronisation des deux flux patients et matériels.

### 1 État de l'art sur le pilotage des flux patients

Le flux des patients est le flux principal des systèmes de soins. La notion de flux dans les systèmes de production de soins est associée à la notion de processus de prise en charge [Jebali, 2004].

Certains travaux se sont intéressés à la classification des flux patients et à leur caractère aléatoire. La standardisation des protocoles thérapeutiques et la classification des patients permettent d'améliorer les prévisions du processus de soins. Le PMSI, Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information, a joué un grand rôle dans la classification des patients en Groupes Homogènes Malades (GHM). Ces GHM représentent une double homogénéité, à la fois médicale et de coût. Une autre classification des patients dite DRGs<sub>6</sub> (Diagnostic-related groups) est proposée par [Fetter et Freeman, 1986]. Chaque groupe de patients utilise les mêmes ressources et reçoit le même « paquet » de soins aussi bien dans le diagnostic que dans le traitement. Ces classifications permettent d'appliquer les méthodes MRP et MRPII dans le milieu hospitalier [Fetter et Freeman, 1986]. [Kusters et Groot, 1996] notent que la classification, se basant sur des informations qui ne sont disponibles qu'après admission du patient, ne permet pas de prévoir avant son admission le processus que suivra le patient.

D'autres travaux se sont intéressés au management des ressources sur la trajectoire de soins du patient. [AS GHC, 2003] classe ces recherches selon deux points de vue. Le premier point de vue s'inscrit dans une approche processus. Il définit différents périmètres de contraintes pris en compte pour l'aide à la décision, selon le niveau de décomposition hiérarchique. Le second point de vue, décrit les différentes pratiques de production des soins qui correspondent à des problématiques de pilotage différentes. [Jebali, 2004] présente une approche processus selon deux vues. Une vue globale montre la logique d'enchaînement des activités et/ou des opérations composant le processus. Une vue ressource détaille l'utilisation des ressources critiques dans le processus ou dans l'activité de soins. Une approche par processus pour la planification et l'affectation des ressources nécessite une reconnaissance du processus à considérer, une reconnaissance des activités qui composent ce processus, une représentation du processus selon deux vues : globale et ressource, et enfin une prévision du processus de soins que doit suivre le client avec estimation de l'utilisation des ressources critiques. [AS GHC, 2003] considère quatre périmètres. Le processus considéré est le

processus opératoire, autrement dit le processus passant par le bloc opératoire. Le premier périmètre se limite au bloc opératoire constitué des salles d'induction et opératoire, des salles de soins post-interventionnels et des salles de réanimation et de soins intensifs. Le second inclut les contraintes de l'ensemble du plateau technique : contraintes du plateau d'imagerie médicale, contraintes du plateau de biologie médicale. Le troisième est celui de l'établissement. Il introduit plus largement les contraintes des phases pré et post-opératoires : les contraintes liées aux consultations (chirurgicales et anesthésiques) et aux examens (radiologie, biologie), les contraintes des unités de soins et notamment la disponibilité des lits, les contraintes du secteur de stérilisation, les contraintes d'approvisionnement des implants et prothèses. Enfin, le dernier définit le réseau de soins ou de santé. Il introduit les contraintes de toute la chaîne logistique de soins de l'ensemble des établissements qui participent à la trajectoire du patient.

Avant de présenter une revue de littérature portant sur le pilotage des flux patients du plateau médico-technique, il nous semble intéressant d'énumérer les travaux qui ont été conduites sur tout l'établissement de soins.

### **1.1 Le périmètre « établissement de soins »**

Le dimensionnement des systèmes hospitaliers diffère de celui des systèmes de production de biens. La trajectoire du patient et les gammes opératoires sont loin d'être standards pour deux raisons [HRP2, 2004] : (1) la variabilité des durées des activités qui composent les gammes et (2) l'évolution de l'état du patient qui peut engendrer une modification de la gamme en cours de réalisation. [HRP2, 2004] évoque deux différences entre la trajectoire de soins et la gamme de production : (1) la multiplicité des trajectoires de soins qui fait dire que la notion de la gamme n'existe pas, et (2) le caractère stochastique des durées des activités qui composent la trajectoire de soins. [Combes, 1994] considère que chaque patient est une entité unique dans le système hospitalier : deux patients ayant la même pathologie ne subiront pas forcément les mêmes opérations de soins. [Combes, 2001] conclut elle aussi que les notions de gammes et nomenclatures n'apparaissent pas dans les systèmes hospitaliers. Ainsi dimensionner les systèmes de soins est une tâche assez difficile.

Une revue de la littérature montre que le dimensionnement du nombre de lits d'hospitalisation est particulièrement étudié par les chercheurs : [Kao et Tung, 1981 ; Huang, 1998 ; Dumas, 1984 ; Vassilacopoulos, 1985 ; Vissers, 1994 ; Vissers, 1995 ; Vissers, 1998 ; Iversen, 2000 ; Ramis, 2001]. Les lits d'hospitalisation constituent une ressource goulot de l'hôpital [Vissers, 1998]. L'objectif est la détermination du nombre de lits pour chaque service ou d'un service bien déterminé permettant une planification dynamique de la capacité tenant compte du développement de la zone desservie par l'hôpital et des évolutions technologiques dans le domaine médical.

Des travaux portent sur le dimensionnement du nombre d'infirmières et de médecins. [Venkataraman *et al.*, 1996] proposent une approche intégrée pour le dimensionnement et la planification du personnel infirmier en milieu hospitalier.

[Podgorelec, 1997] s'intéresse à certaines thérapies qui ont besoin d'un nombre limité de dispositifs thérapeutiques dans le but de dimensionner les ressources. [Van Merode, 1998] s'est intéressé au dimensionnement de la capacité du laboratoire de la clinique, [Chen, 1996] s'est intéressé au service de radiologie, [Gonzales, 1997 ; Alvarez, 2000 ; Alvarez, 1999a ; Alvarez 1999b] au service d'urgence. [Athanasopoulos, 2001] recherche le coût optimal dans le cas où les ressources sont partagées et présente une répartition de ces coûts : coût en

personnel, coût des médicaments, coût des activités et autres coûts. L'objectif de Blake [Blake, 2002] est de résoudre le double problème du mix-d'interventions que pourront réaliser les chirurgiens et du nombre d'heures de bloc et de nuits d'hospitalisation à allouer aux chirurgiens.

Différents outils ont été utilisés : modélisation mathématique, simulation, théorie des files d'attente, etc. Les caractéristiques des trajectoires de soins (durées stochastiques, multiplicité, perturbations) justifient le recours à la simulation. Il est certes vrai que la simulation n'est pas capable de calculer une solution optimale, elle permet toutefois l'obtention d'une solution de fonctionnement satisfaisante au regard des exigences des décideurs. Les modèles mathématiques se basent essentiellement sur des demandes moyennes et permettent seulement de proposer un dimensionnement à un niveau stratégique ou tactique [AS GHC, 2003].

Une fois que l'établissement de soins est conçu, on organise la planification des ressources afin d'optimiser l'exploitation des ressources et le flux des patients. De nombreux travaux existent sur la planification des admissions [Kao, 1973 ; Kao, 1974 ; Hanchock et Walter, 1984 ; Kusters et Groot, 1996 ; Jebali et al., 2003a ; Jebali, 2004]. Différents outils ont été utilisés : modèles mathématiques, modèles statistiques, simulation et modèles semi-markoviens.

Jebali [Jebali et al., 2003a] propose une approche basée sur la prévision du processus de soins que doit suivre le patient. L'objectif de cette approche est de garantir la disponibilité de toutes les ressources critiques intervenant dans le processus de soins passant par un service de chirurgie. Les coûts que représente le bloc opératoire et les attentes importantes qu'il génère justifient ce choix.

Jebali [Jebali, 2004] s'intéresse au processus des soins passant par un service de chirurgie générale et propose une approche permettant d'affecter chaque patient à une date d'hospitalisation en concertation avec lui. Une fois que cette date est confirmée, on ne peut pas la remettre en cause. Le processus de confirmation des admissions est basé sur une planification des interventions sur un horizon de six jours ouvrables. Dans le cas où le bloc opératoire connaît des perturbations, on reporte la date de l'intervention. Afin d'assurer la disponibilité des lits d'hospitalisation, ressource goulot dans le processus considéré, Jebali cherche à minimiser le recours au report des interventions des patients dont la date d'hospitalisation est confirmée. Un autre objectif concerne les patients dont la date d'hospitalisation n'est pas confirmée : minimiser l'écart entre la date d'hospitalisation fournie aux patients en fin de consultation et celle qui leur sera confirmée.

[Klassen et Rohleder, 1996], à travers la simulation, comparent les différentes règles d'ordonnancement pour fournir des rendez-vous de consultation. Deux objectifs ont été envisagés : (1) minimiser l'attente du patient, et (2) minimiser l'inoccupation des ressources. [Swisher et al., 2001] développent un modèle de simulation à événements discrets permettant la gestion des différents cabinets de consultation en réseau. Cet outil aide les professionnels dans les tâches administratives.

Nombreux sont les travaux intéressés par la planification des ressources humaines. [Siferd et Benton, 1992 ; Kumar ; Kapur, 1989 ; McHugh, 1989 ; Heus, 1996 ; Jaumard et al., 1998] ont cherché à planifier le personnel infirmier. [Siferd et Benton, 1992] évoquent trois raisons pour lesquelles on accorde une grande importance à cette problématique : (1) le personnel infirmier doivent être disponibles 24/24 sur 7 jours ; (2) un hôpital ne peut pas exister sans fournir des soins infirmiers ; et (3) chaque patient a un besoin des qualité de soins infirmiers.

[Rossetti, 1999 ; Brauner *et al.*, 2003 ; Bradi et Hollingsworth ; 1992] se sont intéressés à la planification des emplois du temps des médecins

D'autres travaux abordent la planification des sous-processus de l'établissement de soins : (1) centre de dialyse [Davies *et al.*, 1975 ; Davies et Roderick, 1998 ; Korabick, 1978] ; (2) services d'urgence [Iskander, 1989 ; Combes, 1994 ; Gonzalez-Martinez *et al.*, 1997] ; (3) service de soins intensifs [Ridge *et al.*, 1998 ; Kim *et al.*, 1999 ; Kim *et al.*, 2000 ; Kim et Horowitz, 2002 ; Kapadia *et al.*, 2000] ; (4) salles d'examen [Groothuis, 2001] ; (5) laboratoires [Van Merode *et al.*, 1995].

## 1.2 Le périmètre « plateau médico-technique »

Le dimensionnement des ressources et la planification des plateaux médico-techniques des établissements hospitaliers est une problématique de recherche émergente en France : elle représente un enjeu de première importance pour les établissements hospitaliers qui vivent une période de modernisation de leurs infrastructures. Cette modernisation implique des investissements lourds en moyens financiers et en reconfiguration de leur organisation. [Marcon, 2002 ; Smolski, 2002] ont étudié le dimensionnement du nombre de lits en SSPI et l'impact du dimensionnement du nombre de brancardiers. Ils ont proposé un modèle de simulation associé à un modèle d'ordonnancement qui détermine les dates de début des interventions ainsi que la salle dans laquelle elles seront réalisées.

[Ramis *et al.*, 2001] ont analysé le dimensionnement des ressources nécessaires pour un centre de chirurgie ambulatoire au Chili. Les auteurs ont modélisé le processus patient tout au long de son séjour dans le centre de chirurgie ambulatoire. Le patient arrive le matin et part le soir du même jour. Son parcours a été identifié comme l'enchaînement des différentes activités d'accueil, d'examen et de soins. Les auteurs, par cette identification du parcours patient, veulent modéliser l'utilisation des équipements futurs pour maximiser le nombre de patients admis et connaître les ressources nécessaires pour les interventions.

Dans la recherche d'un dimensionnement du PMT, la plupart des travaux ont eu recours à la simulation. Ceci s'explique par le fait que les modèles mathématiques s'appuient sur des durées déterministes agrégées et ne prennent pas en compte les phénomènes de dynamique temporelle (synchronisation des ressources, partages des ressources, etc.), alors que le PMT est caractérisé par l'incertain (durées des interventions, trajectoire des patients, occurrence des urgences) [HRP2, 2004].

Le problème de la planification du PMT peut se modéliser comme un problème hebdomadaire d'affectation des interventions aux salles opératoires et d'un problème journalier d'ordonnancement des interventions du bloc opératoire. Un programme opératoire est la clé de voûte de l'organisation du bloc opératoire [Jebali, 2001]. La littérature est malheureusement pauvre en termes de travaux relevant du domaine des sciences de l'ingénieur et traitant la problématique de la construction du planning opératoire. [HRP2, 2004] recense les travaux qui ont été réalisés en Amérique du Nord et en France et indique que les techniques et la gestion industrielle dans le domaine de santé sont plus avancées en Amérique du Nord. Ceci s'explique par le fait qu'en Amérique du Nord la fonction médicale et celle d'organisation et de gestion sont séparées. La fonction de planification est réalisée par un spécialiste de gestion industrielle et non, comme c'est généralement le cas en France et en Tunisie, par un médecin ou un cadre hospitalier dont la formation première est médicale ou paramédicale.

Un programme opératoire peut tenir compte de tous les services connexes aux salles opératoires et qui impactent sur le processus opératoire, à savoir la salle de surveillance post-interventionnelle, dite salle de réveil, et éventuellement les services d'hospitalisation et le service des soins intensifs et de réanimation.

Dans ce que suit, nous présentons les travaux portant sur la construction de la programmation opératoire centrée sur les salles d'opération, d'autres centrés sur les salles d'opération et la salle de réveil et finalement les travaux intéressés par les services hors bloc opératoire.

### 1.2.1 *La construction d'une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération*

Il s'agit d'établir un planning opératoire sur les différentes salles d'opération. Ce planning sera réalisé selon le type de programmation opératoire que l'on pratique dans l'établissement. [Kharraja et Marcon, 2001] énumèrent les différentes programmations existantes dans les systèmes hospitaliers.

*La programmation ouverte.* Elle consiste à proposer pour chaque période un planning vierge de toutes contraintes de placement. [Kharraja et Marcon, 2001] distinguent deux méthodes de programmation ouverte : (1) le remplissage du programme se fait de manière chronologique suivant la règle du premier demandeur, premier servi ; et (2) la construction du programme est élaborée sous la direction du responsable du bloc opératoire suivant un processus de négociation entre les différents acteurs. La première méthode est simple à mettre en œuvre. Toutefois, cette pratique engendre un fort taux de déprogrammation, une sous-utilisation des ressources, des dépassements horaires importants et engendre de fortes tensions entre les chirurgiens et les services [Kontak-Frosty *et al.*, 1995]. La deuxième méthode s'appuie sur l'objectivation des pratiques individuelles, la mesure de la contribution de chacun à la construction collective et la mise en place de règles de construction d'un programme équitable pour tous les acteurs. Elle constitue ainsi, une technique souple et adaptable aux aléas. Les inconvénients majeurs sont : le temps prohibitif consacré à la recherche d'un ordonnancement admissible voire optimal, la coordination complexe des différents services intervenants et les négociations difficiles avec certains acteurs. [Marcon *et al.*, 2001 a, b] ont proposé un modèle de négociation qui s'appuie sur les souhaits des acteurs pour la construction automatique du programme opératoire et qui évalue a priori le risque de non réalisation de ce programme en fonction de la nature incertaine des durées d'interventions. Dans le cas où le risque de non réalisation serait trop important, le programme peut être modifié itérativement jusqu'à atteindre une solution admissible et satisfaisant au mieux les contraintes.

*L'allocation préalable de plages horaires aux chirurgiens ou aux unités médicales chirurgicales.* Elle consiste à imposer un squelette de programme opératoire pour la semaine, composé d'un ensemble de blocs temporels à l'intérieur desquels les chirurgiens ou services placeront, à leur convenance, leurs interventions. L'avantage principal de cette technique réside dans le fait que le responsable du bloc n'a plus à résoudre le problème de l'ordonnancement. Sa mission principale consiste à vérifier que les plages ne sont pas surchargées. L'inconvénient majeur est la difficulté de construction d'un plan directeur opératoire. Le placement et la taille des plages sont des facteurs déterminants de la qualité de remplissage du programme opératoire. Les problèmes de plages sous-dimensionnées ou sur-dimensionnées peuvent amener à une désorganisation du bloc et nécessitent le recours à des heures supplémentaires [Dexter, 2001].

[Kharraja, 2004] classe les travaux de la construction du plan d'allocation des plages (PDA) en deux classes. La première concerne les établissements nouveaux ou en phase de choix de la mise en place d'une nouvelle politique de gestion du bloc ; elle ne possède donc pas des informations sur l'activité du bloc et des praticiens. La deuxième concerne les établissements qui possèdent des informations sur les activités de leurs praticiens. [Kharraja, 2004] propose deux étapes pour la construction du PDA pour les deux classes. La première étape est commune aux deux classes. Elle consiste à réaliser une ébauche du PDA en utilisant soit l'expertise des acteurs du bloc, soit l'expérience d'un établissement de même pratique, « modèle de référence », soit un modèle des meilleures pratiques [Stodd *et al.*, 1998], soit encore les trois manières menées en parallèle. La seconde étape diffère d'une classe à l'autre. Pour la première classe, il s'agit d'un processus d'apprentissage itératif [Dexter, 2001 ; Malhotra, 2001], dont la périodicité est fonction de l'amélioration des performances. Dans le contexte où l'établissement possède déjà les informations sur le fonctionnement du bloc et des acteurs, la seconde étape est basée sur l'analyse quantitative et qualitative des données issues du système d'information. Le problème consiste alors à déterminer le volume global des plages pour chaque chirurgien ou groupe chirurgical.

Afin de déterminer la plage horaire pour chacun des chirurgiens d'un même groupe, [Dexter *et al.*, 1999a] proposent une technique d'extraction des données qui permettra d'approcher, par une loi normale, la prévision du nombre total d'heures nécessaires pour chaque groupe chirurgical sur une période de quatre semaines. A ce niveau, [Kharraja, 2004] propose de réaliser soit une décomposition manuelle de la charge en plages et d'appliquer le modèle d'apprentissage, soit de construire un modèle de squelette du PDA qui va être validé et optimisé. Pour cela, deux familles de méthodes ont été proposées. La première s'appuie sur des modèles statistiques [Dexter *et al.*, 1999b ; Strum *et al.*, 1999], la deuxième sur la programmation linéaire en nombres entiers [Blake *et al.*, 2002] et l'utilisation d'heuristiques de bin packing [Blake *et al.*, 2002].

Différents objectifs définis ont été considérés dans la minimisation des coûts. Certains ont cherché à minimiser le critère de « sur et/ou sous » exploitation des plages. Une heure de sur-utilisation (dépassement horaire) correspond à 1.75 heures de sous-utilisation [Dexter, 2001]. Une heure d'utilisation d'une salle opératoire coûte environ 450 euros par jour [Teil, 2002]. [Marcon et Simonnet, 2003] ont mis en évidence deux paramètres influant sur le dépassement horaire : d'une part, le nombre des plages horaires (plus le chirurgien aura de plages de taille importante en nombre faible, plus le risque de dépassement est faible) et d'autre part, la stratégie de découpage du volume hebdomadaire en plages (la relation qui existe entre les durées des interventions et la décomposition de l'espace qui doit les recevoir). Les auteurs ont montré que la recherche de la base de décomposition de l'espace la plus adaptée aux classes des interventions de chacun des chirurgiens entraîne des gains significatifs en termes de taux de dépassement horaire moyen hebdomadaire. D'autres ont fixé comme objectif la minimisation du coût du personnel. [Strum *et al.*, 1999] développent un modèle mathématique de répartition des blocs entre les différents groupes chirurgicaux ayant pour objectif la minimisation du coût du personnel en se basant sur la prévision de la moyenne et de l'écart type de la demande des douze mois suivants. [Macario *et al.*, 2001] ont étudié l'impact de la répartition des plages horaires en fonction de l'apport (profit) de chaque cas chirurgical avec objectif augmentation du profit. Les chirurgiens qui réalisent les interventions les plus rentables auront des plages plus importantes. [Kharraja et Marcon, 2003] ont construit un plan directeur d'allocation des plages horaires tenant compte des types d'interventions chirurgicales, de la demande hebdomadaire et de la disponibilité des chirurgiens. L'objectif est de minimiser l'écart entre l'offre, à travers le PDA, et la demande du chirurgien. A travers leur construction du PDA et la notion de plage banalisée qu'ils ont introduite, les simulations

qu'ils ont réalisées montrent que leur PDA résiste mieux, par rapport au PDA qui existe jusqu'alors dans la littérature, aux variabilités des activités des chirurgiens. Toutefois, une forte variation de la fréquence des types d'interventions pourrait générer des heures supplémentaires pour les salles d'opération.

Certains travaux se sont intéressés à la satisfaction des chirurgiens en équilibrant la répartition des plages horaires entre les chirurgiens. [Blake, 2002 ; Blake *et al.*, 2002], par le biais de la programmation linéaire en nombre entiers, proposent une répartition équitable des plages horaires entre les différents services ou groupes chirurgicaux partageant le bloc opératoire en considérant les différents types de salles opératoires. Mais cela est insuffisant pour respecter la demande des chirurgiens. La répartition proposée ne prend pas en considération la nature de l'intervention chirurgicale, ce qui peut générer des coûts supplémentaires liés aux problèmes de sur ou de sous-estimation, [Dexter *et al.*, 2002 ; Dexter *et al.*, 2000]. De ce fait, [Kharraja, 2004] intègre la nature de l'opération à réaliser pour mieux exploiter les plages horaires affectées aux différents acteurs chirurgicaux. Afin de comparer les deux approches proposées, [Kharraja, 2004], à travers les tests réalisés, déduit qu'en intégrant la nature de l'opération. On réussit à affecter 50% des interventions non affectées en appliquant les approches traditionnelles.

*La programmation par allocation préalable de plages avec processus d'ajustement.* Cette technique s'appuie globalement sur les principes de la méthode présentée au paragraphe précédent. Sa particularité réside dans le processus d'ajustement. [Kharraja, 2004] énumère deux méthodes : (1) *Unassigned block*, pratique qui consiste à émailler le PDA de plages non-affectées afin de pallier les surcharges de travail ponctuelles de certains chirurgiens ; et (2) *Released block time*, pratique qui consiste à vérifier l'acceptabilité du taux de remplissage des plages. Après avoir vérifié le taux de remplissage, le responsable valide les durées des plages affectées, sinon il ajuste ou banalise des plages qui ont été «délaisées» par leurs allocataires [Malhotra, 2001]. La figure 3.1 illustre la deuxième pratique.



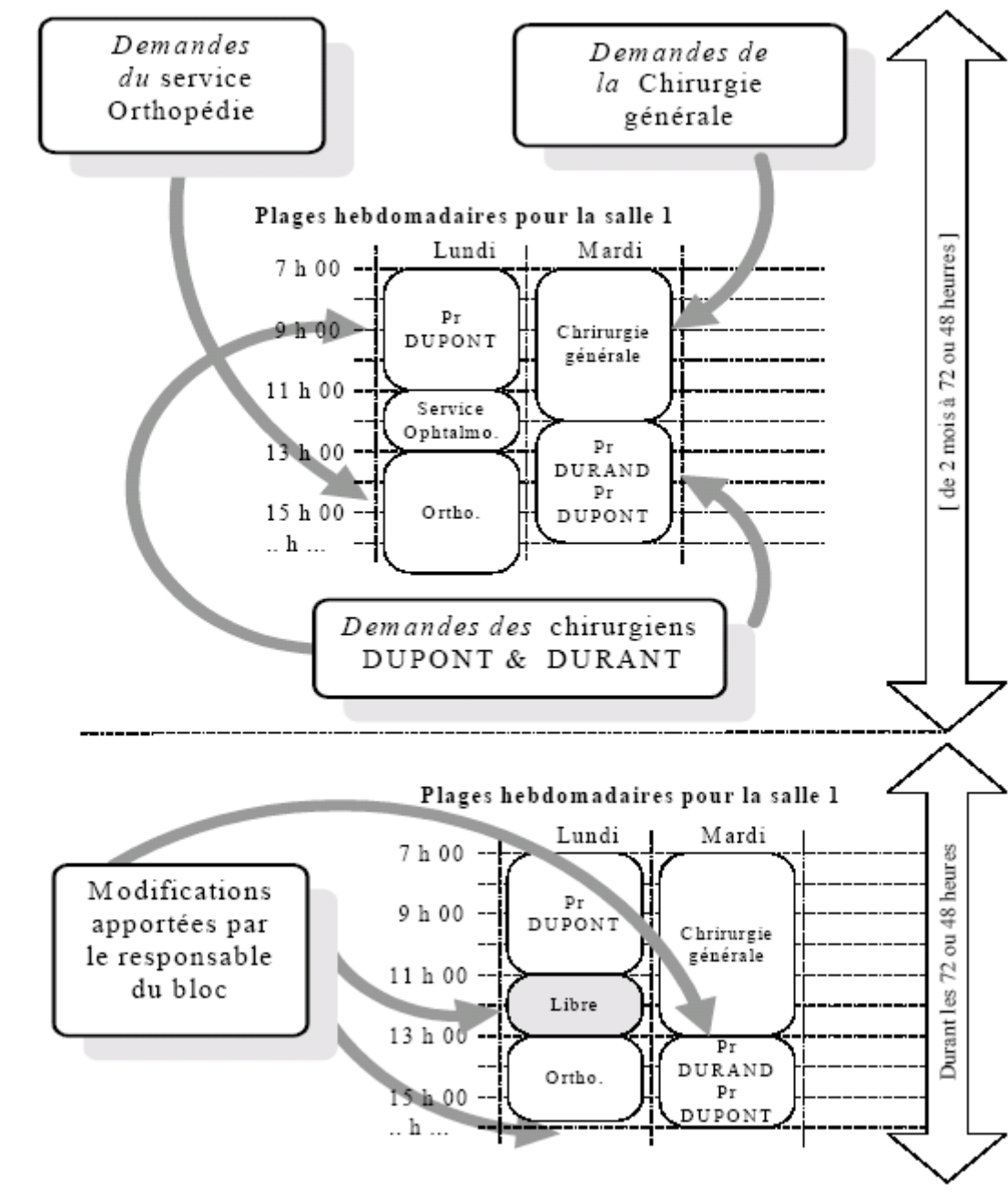


Figure 3-1. Plan directeur d'allocation des plages avec processus d'ajustement [Kharraja, 2004]

Ainsi le processus d'ajustement permet d'augmenter le taux de remplissage des plages horaires. Ce processus prend la responsabilité de modifier la structure du PDA en fonction des critères de rentabilité fixés par les décideurs et doit, dans un temps très court, planifier de nouvelles interventions dans l'objectif d'améliorer les performances productives du programme [Kharraja, 2004].

Deux événements peuvent causer la dégradation de la performance du PDA en termes d'exploitation des plages ou de nombre des interventions non affectées. Le premier consiste

dans la variation des fréquences des types d'interventions et par suite dans la variation du volume hebdomadaire des chirurgiens. Dans ce contexte, deux catégories de plages horaires ont été introduites : les premières dites « Overflow Block Time OBT » représentent la somme des temps inexploités par plage horaire, durant une semaine, par des chirurgiens du même groupe [Dexter et al., 2000] ; et les deuxièmes appelées « plages banalisées » [Kharraja et Marcon, 2003], qui représentent la somme des temps inexploités par plage horaire pour des chirurgiens opérant dans la même salle et pendant le même jour. [Dexter *et al.*, 2000], proposent d'affecter chaque nouvelle intervention à placer soit, au premier OBT suffisamment grand pour la recevoir, soit à l'OBT lui permettant d'être réalisée au plus tôt. [Kharraja et Marcon, 2003] ont proposé une heuristique leur permettant d'affecter l'ensemble des opérations restantes aux plages banalisées. L'objectif est de minimiser l'exploitation des plages banalisées. Les auteurs proposent d'ajouter la durée de chacune de ces plages banalisées utilisées aux plages horaires des chirurgiens. Ceci permettra aux chirurgiens de réaliser en un seul bloc l'ensemble de leurs opérations au lieu d'attendre la fin de la journée. Toutefois, ceci peut engendrer un chevauchement des plages horaires de deux groupes chirurgicaux dans le cas où ces derniers interviendraient dans différentes salles durant la même journée.

Le second événement consiste dans l'occurrence d'aléas lors de l'application du PDA, aléas tels que l'arrivée des urgences, ou la prolongation de certaines interventions chirurgicales. Dans ce cas, des interventions peuvent être annulées au profit des urgences. A notre connaissance, aucun travail n'a abordé ce problème dans le cadre du plan directeur d'allocation des plages avec processus d'ajustement.

### 1.2.2 La programmation centrée sur les salles d'opération et la salle de réveil

L'établissement d'un programme opératoire prend en considération à la fois les salles d'opération et la salle de réveil. La littérature est assez pauvre dans ce domaine. La plupart des travaux traitent indépendamment les problèmes liés aux salles d'opération et ceux liés à la salle de réveil. [Dexter et Tinker, 1995 ; Dexter, 1995 ; Waddle, 1998] cherchent à réduire le coût de la salle de réveil. [Dexter et Tinker, 1995] montrent que les anesthésistes ont une influence limitée sur les économies de la salle de réveil. Le facteur déterminant des coûts de la salle de réveil est la distribution des admissions, autrement dit, la programmation opératoire des salles d'opération. D'autres cherchent à améliorer l'organisation de la salle de réveil. [Dexter, 2001a] essaie d'améliorer les procédures administratives qui rallongent le temps de séjour en SSPI de 5%.

Toutefois, peu nombreux sont les travaux qui portent sur la construction d'une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération ainsi que sur la salle de réveil. [Kharraja, 2002 ; Guinet, 2002] modélisent ce problème comme étant un flow shop hybride à deux étages. Chaque étage est constitué de plusieurs ressources identiques. Les salles d'opération constituent les machines du premier étage ; dans le second, les machines sont les lits de la salle des soins post intervention.

[Kharraja, 2002] a fixé comme objectif la minimisation de la date de fin de la dernière intervention, autrement dit la minimisation du makespan ( $C_{max}$ ). La contrainte qu'il a prise en compte est le blocage du patient dans la salle d'opération, si aucun lit n'est disponible dans la SSPI. Ainsi, le problème revient à un problème de flow shop hybride à deux étages, avec contrainte de blocage et ayant comme objectif la minimisation du makespan  $FH2/Block/C_{max}$ . [Guinet, 2002] a fixé le même objectif à savoir la minimisation du makespan. Toutefois, selon lui, chaque patient doit rester dans un premier temps dans la salle

d'opération et doit passer en deuxième lieu à la SSPI sans attente. Une autre contrainte consiste dans la prise en compte du nettoyage de la salle d'opération. Ainsi, on modélise le problème d'ordonnement de  $N$  patients comme un problème flow shop hybride à deux étages avec  $m_1$  salles d'opération dans le premier étage,  $m_2$  lits dans le deuxième étage, avec pour objectif la minimisation du makespan ayant comme contraintes : (1) pas d'attente du patient entre les deux étages, et (2) nettoyage de la salle d'opération ; ainsi le problème est modélisé comme suit :  $N/2, m_1, m_2, I/F, no-wait, Rnsd/C_{max}$ . [Gupta, 1988] a montré que le problème FH2 / /  $C_{max}$  est NP difficile.

### 1.2.3 La programmation opératoire centrée sur les services hors bloc opératoire

A notre connaissance, peu de travaux se sont intéressés à la construction d'une programmation opératoire centrée sur les services hors bloc opératoire. Les travaux que nous avons trouvés ont été effectués dans des laboratoires des Etats-Unis, en Chine et en Angleterre.

Le programme opératoire est fortement influencé par les ressources hors bloc notamment la salle des soins intensifs et réanimation et les services d'hospitalisation. Un patient nécessitant des soins intensifs ne peut être programmé que s'il existe un lit libre dans la salle de réanimation. L'importance donnée à la salle de réanimation est justifiée par le fait que celle-ci est une ressource très coûteuse. Elle nécessite d'une part, un ratio élevé de personnel paramédical et médical par patient et, d'autre part, des équipements très coûteux [Kim *et al.*, 1999]. [Kim et Horowitz, 2002] précisent que la disponibilité d'un lit dans la salle de réanimation devient un coup de chance. Ceci est à l'origine du conflit entre les chirurgiens du bloc et les médecins responsables de la salle de réanimation. Les premiers ordonnent leurs patients en supposant la disponibilité d'un lit dans la salle de réanimation, alors que les médecins ordonnent leurs patients dans la salle de réanimation selon la règle de priorité « first come – first served ». Si aucun lit n'est libre, l'administration est obligée d'annuler l'intervention déjà planifiée. Ceci a des conséquences péjoratives : ré-ordonnement du bloc opératoire, perturbation de l'état psychologique du patient et de sa famille.

[Kim *et al.*, 2000] ont un double objectif d'une part, minimiser le nombre d'annulations des interventions et d'autre part minimiser le nombre d'heures d'attente des autres patients. Après avoir simulé différentes stratégies, ils concluent que l'allocation des lits pour la chirurgie régulière (FBA) est la plus performante. [Kim et Horowitz, 2002] proposent l'introduction du système des quotas dans la chirurgie régulière. Dans un premier temps, on considère des quotas fixes pour tous les jours de la semaine. Les quotas sont fixés à 1 patient de la chirurgie régulière par jour, 2 par jour et 3 par jour. La simulation est basée sur l'historique de 20 ans de l'hôpital public universitaire à Hong Kong. Le système est évalué en termes de nombre d'interventions annulées et de nombre de patients traités par année. Quota = 1 patient / jour permet de réduire le nombre d'annulations de 23% par rapport au système courant. [Kim et Horowitz, 2002] montrent qu'un couplage de 3 FBA et un quota de 1 patient / jour permettent une réduction importante (55%) des annulations des interventions. [Ridge *et al.*, 1998] montrent que le taux de transfert des patients urgents est non linéaire en fonction du nombre de lits dans la salle de réanimation. Ce taux tend asymptotiquement vers zéro si on augmente le nombre de lits dans la salle de réanimation. Toutefois en augmentant le nombre de lits, le taux d'occupation de la salle se réduit. En outre, en affectant des lits libres aux urgences, le taux de transfert des patients planifiés augmente alors que le taux de transfert des cas urgents diminue légèrement. Les deux transferts sont minimisés si aucun lit libre n'est affecté aux urgences. [Ridge *et al.*, 1998] mettent l'accent sur le transfert des patients planifiés. Ce dernier n'influe pas sur le taux de transfert des patients urgents étant donné la

politique suivie par les établissements de santé qui n'est pas un transfert en temps réel des patients planifiés lors de l'arrivée des urgences. Il s'avère intéressant d'établir une programmation opératoire tenant compte de la politique suivie pour la gestion de la salle de réanimation. Cette programmation doit être bien étudiée et sélectionnée de manière à optimiser le nombre des annulations des patients planifiés et le temps d'attente des urgences.

#### 1.2.4 La prise en compte des urgences

Le fonctionnement du bloc est déterminé par un programme opératoire prévisionnel. Par ailleurs, le bloc opératoire est un environnement qui subit de multiples types de perturbations. Peu de travaux se sont intéressés à la prise en compte des éventuelles perturbations. Ces travaux se sont intéressés en particulier aux urgences. Une étude effectuée dans un centre hospitalier québécois a montré que les urgences constituent le type de perturbation qui cause le plus de modifications au programme opératoire [Lafon et Landry, 2001]. L'insertion de ce type de patients bouscule le fonctionnement du bloc opératoire. Un patient non programmé est une charge supplémentaire pour le personnel de l'hôpital. Ainsi, le bloc opératoire se trouve souvent inapte à prendre en compte ce genre d'aléas. A notre connaissance, les travaux n'ont pris en considération l'urgence que dans le contexte d'une programmation ouverte. Ces travaux ont pris en compte les contraintes suivantes :

*La prise en compte de la date limite de l'intervention des patients.* Les travaux de [Dexter et al., 1999] ont porté sur la prise en compte de cette contrainte modélisant le cas urgent de certaines interventions sans que soit pris en compte la date de l'arrivée de l'urgence ni comment l'insérer dans le programme prédictif déjà établi.

*La prise en compte de l'urgence en fin de semaine en dehors des jours ouvrables.* Dexter et [O'Neill et al., 2001] ont présenté une méthode statistique qui permet de déterminer le nombre minimum de membres du personnel médical et paramédical à assurer pour prendre en charge des cas urgents en fin de semaine. Toutefois, le problème de la prise en compte de l'urgence en fin de semaine ne part pas d'un programme opératoire prévisionnel sachant que les cas programmés ne sont pas traités en fin de semaine.

*La prise en compte de l'arrivée de l'urgence et du programme prédictif.* Il s'agit d'insérer une urgence dans un programme prédictif déjà établi. [Hammami, 2002] présente une méthode pour l'introduction de l'urgence avec l'objectif de minimiser le coût d'introduction de cette urgence dans le programme opératoire en minimisant le nombre des patients à reporter sur un jour ultérieur aussi bien que l'utilisation des salles d'opération pendant les heures supplémentaires. L'approche proposée pour l'introduction d'une urgence s'inspire des méthodes développées dans le milieu industriel tout en respectant les spécificités du milieu hospitalier. C'est l'approche prédictive-réactive. Cependant la méthode proposée 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. [Hammami et al., 2003] proposent une approche multi-objectif : (1) économique en minimisant le coût d'exploitation du bloc opératoire, et (2) organisationnel en équilibrant les charges des salles d'opération.

[Jebali, 2004] modélise le fonctionnement du bloc opératoire et l'insertion de l'urgence en recourant à l'outil RdP T-temporel. L'approche proposée se décompose en deux étapes. La première a pour objectif la supervision des décisions quant à l'affectation des ressources dans le système de production de soins. La deuxième étape a pour 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. [Jebali, 2004] précise que 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. De ce fait, [Jebali, 2004] propose de générer un ensemble de règles à respecter dans l'affectation des ressources dans un système de soins.

### 1.3 Conclusion

La technique programmation par allocation des plages avec processus d'ajustement permet de prendre en compte des perturbations qui peuvent survenir. Toutefois, à notre connaissance, les travaux réalisés dans ce cadre n'ont proposé qu'une approche prédictive permettant d'absorber les incertitudes liées au nombre des interventions. Les approches prédictives proposées n'ont pas été évaluées du point de vue robustesse et flexibilité.

## 2 Etat de l'art sur le pilotage des flux matériels

La logistique hospitalière est restée embryonnaire durant de très nombreuses années. Les restrictions budgétaires appliquées depuis une vingtaine d'années tendent à la faire évoluer. Cette logistique hospitalière peut s'inspirer des approches technique et managériale et de la logistique de soutien [AS\_GHC, 2003]. L'approche technique consiste dans le contrôle de gestion des flux de matières premières et des marchandises des points d'approvisionnement jusqu'aux points de consommation. L'approche managériale considère que la logistique permet de piloter tout au long de la chaîne. La logistique de soutien concerne la conception de la chaîne logistique.

[AS-GHC, 2003] présente l'établissement de santé comme un système sociotechnique composé de six sous-systèmes : orienté patient, dédié pharmacie, dédié linge, dédié restauration, de soutien technique (déchets, stérilisation), de soutien administratif. Chaque sous-système est organisé suivant le modèle O.I.D. (Opérant, Information, Décision) [Le Moigne, 1990]. La mission principale d'un sous-système est assurée par un processus principal opérationnel ou logistique. Le tableau 2.1 précise pour chaque sous-système le processus principal.

**Tableau 3-1. Processus principal de chaque sous-système d'un établissement de santé**  
[AS\_GHC, 2003]

Sous-systèmes	Processus métier	Processus logistique
Orienté patient	Consultations, interventions, soins	Transport sanitaire, brancardage
Dédié pharmacie	Validation et aide aux prescriptions	Distribution des médicaments, pansements et dispositifs médicaux stériles
Dédié linge	Entretien des chambres	Collecte et nettoyage du linge
Dédié restauration	Dispensation des repas Fabrication des repas	Acquisition repas ou composants
Soutien administratif	Activités administratives	Acquisition fournitures

Soutien technique	Maintenance des équipements Stérilisation des équipements	Gestion des connaissances techniques, des pièces détachées et des produits
-------------------	--	--

Parmi ces sous-systèmes, deux nous apparaissent fortement connexes au processus de soins : (1) le sous-système « orienté patient » avec le transport sanitaire et le brancardage, et (2) le sous système dédié pharmacie avec la distribution des médicaments, pansements et dispositifs médicaux et stériles. [Chaabane *et al.*, 2002] ont étudié la question du brancardage. Dans le cadre de la logistique d'approvisionnement que nous incluons dans nos objectifs, nous nous intéressons au sous système dédié pharmacie. Nous limitons notre champ d'étude aux consommables et dispositifs médicaux. Les produits stérilisés nécessitent un mode de pilotage différent.

### 2.1 Le périmètre « établissement de soins »

[Blouin *et al.*, 2000] décomposent le réapprovisionnement en quatre grandes activités de base qui sont : commander, prélever, transporter et placer. Cette base d'analyse facilitera la mise en évidence des implications diverses de chacun des modes de réapprovisionnement. Une revue de la littérature montre qu'il existe au moins cinq modes de réapprovisionnement des unités de soins :

1. **Stockless hybride** : approche américaine proposée par les distributeurs aux établissements de santé selon laquelle le distributeur trie et emballe les produits en fonction des besoins spécifiques de chaque unité [Rivard-Royer, 2001].
2. **Le système de réquisition** : l'un des plus vieux systèmes existants dans les hôpitaux [Houssley, 1978]. Le personnel soignant se charge de l'évaluation des besoins en fournitures, de la préparation des commandes, la transmission des besoins et la disposition des fournitures dans les systèmes d'entreposage.
3. **L'échange de chariots** : c'est une technique de réapprovisionnement qui a connu un essor de popularité au milieu des années 70 [Perrin, 1994]. A l'époque, cette approche était perçue comme présentant de nombreux avantages par rapport au système de réquisition car elle éliminait la responsabilité des unités de soins dans la gestion des stocks et du réapprovisionnement et améliorerait la gestion des stocks [Kovacs, 1984].
4. **Approche par level** : la popularité de l'échange de chariots a diminué d'une façon importante au fil des années pour laisser place à et l'approche par level [Kovacs, 1984; Kowalski, 1980]. Le manutentionnaire assure des tournées périodiques des unités de soins à décompter, les stocks, à transmettre les besoins, à prélever les fournitures et à livrer aux unités de soins. Le personnel soignant ne se charge que de la disposition des fournitures.
5. **le système plein-vide** : [Landry et Beaulieu, 2000] rapportent que plusieurs établissements de santé européens ont recours au système plein-vide pour assurer le réapprovisionnement des unités de soins. Le système plein-vide est un système de double casier permettant de gérer les stocks aux unités de soins.

Les activités (commander, prélever, transporter et placer) seront performantes si elles sont bien gérées. Cette gestion implique entre autres des décisions liées à des paramètres comme le niveau des quotas ou la fréquence de réapprovisionnement. Nous constatons qu'il y a des arbitrages à réaliser entre le niveau de service offert par le système de réapprovisionnement, le

coût des stocks à l'unité de soins ou le coût de fonctionnement général du système. Ces arbitrages peuvent impliquer, à première vue, le service des approvisionnements ou les unités de soins mais également la direction de l'établissement qui pourrait désirer faire respecter certaines orientations en termes de coût ou de qualité de service. Il devient alors pertinent de s'interroger sur le rôle des différents services en ce qui a trait à la gestion du processus de réapprovisionnement et à l'établissement des différents paramètres de gestion.

[Boulin *et al.*, 2001] décrivent la nécessité d'un recours à la notion d'impartition pour expliquer la répartition des activités de gestion du réapprovisionnement. Les avantages de l'impartition énoncés par [Boyson *et al.*, 1999] rejoignent les bénéfices de la centralisation : meilleure focalisation de l'organisation (les activités médicales), libération de ressources (par exemple, temps infirmier), accès à des compétences de pointe (professionnalisme du service des approvisionnements). Par ailleurs, contrairement à la notion de centralisation, l'impartition permet d'introduire simultanément plusieurs dimensions. En effet, l'impartition n'implique pas la cessation complète d'un processus mais elle peut mener à des stades intermédiaires où une organisation décide d'impartir certaines activités d'un processus. On identifie trois composantes qui peuvent être imparties : les activités, les décisions de gestion et les actifs. Dans le contexte du réapprovisionnement, les décisions liées aux activités sont relatives à la réalisation des quatre activités de base identifiées (commander, prélever, transporter, placer), les décisions de gestion recourent principalement l'établissement des paramètres de gestion (niveau des quotas et fréquence de réapprovisionnement) et la gestion des actifs peut être liée aux équipements d'entreposage utilisés dans les unités de soins. Les différents acteurs du réapprovisionnement doivent se poser la question de ce qui doit être impartir. La réponse pourrait mener à plusieurs configurations. Une unité de soins pourrait décider de confier au service des approvisionnements la réalisation des quatre activités de réapprovisionnement tout en conservant la main sur les décisions de gestion des actifs. A la limite, un établissement de santé pourrait opter pour l'impartition de l'ensemble des activités de réapprovisionnement des unités des soins à un fournisseur externe. Plusieurs options peuvent donc découler de l'agencement de ces trois éléments. À l'intérieur même de ces trois éléments, différentes nuances peuvent être développées. Dans certains contextes, il pourrait s'avérer pertinent de ne confier au service des approvisionnements que la réalisation des activités prélever et transporter ou tout simplement d'établir un système de révision partagée au niveau des quotas. Druart, Leroy et Festiger [Druart *et al.*, 2002] recensent les pratiques logistiques hospitalières innovantes en France. Ils plaident pour un management de la logistique transversal et commun à tous les services de l'hôpital.

Autres travaux se sont intéressés à déterminer les outils de gestion des flux. Les supports matériels concernent le stockage et la distribution des flux physiques. Le stockage peut être pris en charge manuellement à l'aide de rayonnages et d'armoires. [Rossetti *et al.*, 1998] ont cherché à comparer deux modes de manutention : manutentionnaires et robots. Afin de mettre l'accent sur l'opportunité d'utiliser des robots pour le transport des analyses et des médicaments, Rossetti et Selandari [Rossetti *et al.*, 2001] proposent une méthodologie basée sur un processus de décision multicritères (déclinaison et pondération d'indicateurs de performances) et un modèle de simulation de flux. Dans le cas où on est obligé de recourir aux manutentionnaires, pour des raisons budgétaires, Gascon et Michelon [Gascon *et al.*, 1997] s'intéressent à la constitution des tournées de manutentionnaires en fonction des différentes tâches de logistique hospitalière à prendre en compte (distribution des médicaments, analyses, repas, ...). La distribution peut se faire également à l'aide de chariots ou d'autres moyens automatiques : les systèmes de transport pneumatique ou mécanique (valisettes).

On note l'absence d'études sur le mode de stockage dans des rayons et le mode de distribution des rayons. Toutefois, dans les systèmes de production de biens, la littérature est riche. Ce problème consiste à allouer chaque produit à une étagère. C'est le SSAP « *Shelf-Space Allocation Problem* ». On trouve ce genre de problème surtout chez les détaillants qui visent à maximiser leurs ventes. SSAP est un problème NP-difficile [Yang, 2001]. De ce fait, des approches intuitives ont été proposées dans des systèmes commerciaux. Ces approches sont basées sur des règles d'utilisation. Toutefois elles ne permettent pas d'aboutir à des solutions optimales [Yang, 2001]. [Dreze *et al.*, 1994] proposent des modèles expérimentaux afin d'analyser l'impact de l'allocation des étagères sur les ventes. Ces méthodes ne tiennent pas compte de tous les produits, elles n'étudient l'impact que de certains produits. Afin de résoudre la question d'une façon optimale, le SSAP a été modélisé analytiquement [Crostgens et Doyle, 1981; Crostgens et Doyle 1983]. Les auteurs proposent un modèle dynamique en tenant compte des investissements futurs sur les nouveaux marchés. [Bookbinder et Zarour, 2001] proposent un modèle DPP (Direct Product Profit) qui consiste à calculer pour chaque produit une marge en tenant compte du DCP, Direct Cost Product. Le modèle proposé est une combinaison entre les méthodes DPP et les modèles d'optimisation des problèmes SSAP.

Un questionnaire a été établi par [AS\_GHC, 2003] afin de connaître les pratiques actuelles des hôpitaux français. Le questionnaire a été envoyé à plus de 600 établissements de santé. L'enquête a été limitée aux flux pharmaceutiques. Ce choix est justifié par l'importance financière que représente les flux pharmaceutiques (15% du budget de fonctionnement de l'hôpital) [Delomenie et Yahiel, 1996]. On constate que les hôpitaux disposent de peu de supports de mouvements, quasiment pas de robots convoyeurs (1,1%), ni de chariots filoguidés (4,6%). Peu d'hôpitaux utilisent des systèmes pneumatiques tels des valises (13,8%) ou des codes à barre (16,1%). On commence seulement à rencontrer des armoires mobiles (échanges d'armoires) dans les établissements (36,8%). Le système manuel est encore le plus répandu (89,7%).

Au niveau opérationnel, la plupart des travaux ont abordé le problème de la gestion des stocks (quantité à commander, seuil de sécurité, périodicité de livraison,...) qui requiert l'élaboration de réponses à une grande quantité de questions liées à la planification des activités et au contrôle des ressources. [AS\_GHC, 2003] précise que les modes de gestion des approvisionnements des établissements de soins sont identiques à ceux de l'industrie manufacturière. Ils dérivent de la théorie économiste de la gestion des stocks. On distingue quatre modes de stockage :

1. La gestion par seuil ou encore par inventaire permanent. Un seuil d'alerte déclenche la commande lorsque la quantité en stock atteint le seuil. La commande demande le réapprovisionnement d'une quantité prédéfinie. Le contrôle de seuil d'alerte s'effectue après chaque mouvement de stock.
2. La gestion par inventaire ou encore par inventaire périodique. Ce mode de gestion diffère du précédent au niveau du contrôle qui est effectué périodiquement.
3. La préconisation de commandes ou encore calcul des besoins. En fonction des prévisions de traitement de patients, des besoins en médicaments sont calculés compte tenu de l'état des stocks et des approvisionnements en cours. Ils donnent lieu à des propositions d'achats.
4. La gestion double dotation ou "Kanban". Chaque référence gérée suivant ce système est disponible dans deux bacs. Lorsque le premier bac est épuisé, l'utilisateur demande



le remplissage des bacs à l'aide d'une étiquette de commande et s'approvisionne dans le deuxième bac. Périodiquement les étiquettes de commande sont prises en compte et les bacs sont remplis.

D'après le questionnaire effectué par [AS\_GHC, 2003], les modes de gestion de l'unité de soins sont principalement la gestion par inventaire (dans 49,4% des établissements) et la gestion par seuil (42,5%).

[Lapierre et Ruiz, 2003] relèvent au moins deux faiblesses dans les modèles de gestion de stock utilisés en solo dans le contexte hospitalier : (1) ils ne tiennent pas compte de la disponibilité des ressources humaines, alors que l'approvisionnement des unités de service (US) requiert beaucoup de temps de la part des employés ; ainsi, la minimisation des stocks moyens peut entraîner une augmentation très rapide des coûts de main-d'œuvre ; et (2) la majorité des centres hospitaliers souffrent d'un manque important d'espace d'entreposage au magasin central (MC) et aux unités de soins (US). Ainsi, la problématique de l'organisation des services d'approvisionnement consistera à trouver un horaire des visites des fournisseurs au MC et un horaire de distribution aux US satisfaisant la capacité du MC.

Il faut noter qu'une gestion efficace des approvisionnements exige plus qu'une simple surveillance des niveaux des stocks. Nous notons la naissance d'une nouvelle vision intégrant l'ensemble des opérations liées à l'approvisionnement appelée « la gestion de la chaîne d'approvisionnement » (SCM) [Geoffrion et Powers, 1995 ; Slats et al., 1995]. SCM met l'accent sur la recherche de l'amélioration de l'ensemble plutôt que sur l'optimisation de chacune des fonctions faisant partie du système. [Lapierre et Ruiz, 2003] se sont orienté vers l'approche chaîne d'approvisionnement. De nombreux succès découlant de la coordination des activités de la production et de la distribution [Chandra et Fisher, 1994] ou encore entre les entrepôts et leur distribution [Qu et al., 1999], témoignent du potentiel de cette nouvelle approche. [Lapierre et Ruiz, 2003] décrivent une approche globale d'optimisation de la chaîne d'approvisionnement pour le contexte hospitalier. Ils présentent un modèle mathématique, résolu à l'aide des méthodes de recherche avec tabou, ainsi qu'une analyse d'un système d'approvisionnement d'un établissement hospitalier de la région de Montréal au Canada.

Dans ce modèle, le système d'approvisionnement est décrit comme une chaîne de décisions opérationnelles qui administre les ressources nécessaires à l'exécution de chaque activité. Dans un système d'approvisionnement à deux échelons, il y a des espaces d'entreposage limités aux US et au MC. Cette approche de la chaîne d'approvisionnement cherche à confectionner un horaire d'opération : réception, manutention, contrôle des inventaires, livraisons, achats, tout en respectant les capacités d'entreposage et des ressources humaines. Par ailleurs, on tentera de maximiser le nombre des visites aux US afin de mieux en contrôler la consommation.

[Lapierre et Ruiz, 2003] comparent le système d'approvisionnement de l'approche de la gestion des inventaires et celui de l'approche chaîne d'approvisionnement. Le premier est activé par des seuils et des quantités de réapprovisionnement donnant lieu à des fréquences de visite. Par contre, les décisions de l'approche chaîne d'approvisionnement s'expriment directement à travers un horaire d'activités pour la période de planification. [Lapierre et Ruiz, 2003] comparent également les objectifs des deux approches de la gestion des systèmes d'approvisionnement hospitalier. L'approche traditionnelle, gestion des inventaires, axée sur la minimisation des inventaires minimise uniquement les coûts par produit. Elle vise par contre à augmenter le nombre des visites aux US car celles-ci ne sont pas coordonnées.

L'approche actuelle, chaîne d'approvisionnement, vise à la minimisation simultanée des inventaires et des ressources humaines.

L'optimisation du coût de stockage, seul critère de décision de l'approche traditionnelle, peut engendrer de mauvaises décisions concernant notamment la gestion des produits volumineux ayant un prix bas qui ne sont pas réapprovisionnés assez fréquemment et des produits ayant une grande variabilité dans leur demande. De ce fait, [Lapierre et Ruiz, 2003] remplacent le coût de chaque produit par une fonction d'utilité à maximiser, tenant compte du prix et de la variabilité de la demande. Le poids et le volume sont considérés à travers des contraintes d'entreposage. Ainsi l'approche proposée maximise le niveau de service.

Un autre objectif, exprimé par les responsables des services d'approvisionnement, consiste à distribuer régulièrement la charge de travail durant la semaine afin de simplifier la gestion des employés. [Lapierre et Ruiz, 2003] établissent un modèle mathématique multi-période à double objectif : (1) minimiser la valeur de « désutilité » présentant le coût imputé au fait de ne pas réapprovisionner un produit, et (2) minimiser l'écart entre les charges de travail affectées aux jours de la période de planification [Lapierre *et al.*, 2002]. Le modèle présente un outil d'aide à la planification des activités d'achat et de distribution compte tenu des ressources humaines et matérielles disponibles. Cependant, la résolution du modèle ne fournit que la charge de travail journalier par groupe d'activités et non les horaires de travail des employés du service d'approvisionnement. En outre, ce modèle ne cherche pas à minimiser le temps passé par les infirmières pour les activités logistiques. Les auteurs supposent que ces activités sont attribuées au service d'approvisionnement.

## 2.2 Le périmètre « plateau médico-technique »

En pratique, la technique d'approvisionnement la plus fréquentée et rencontrée au sein des blocs opératoires est la gestion de type calendaire. Après avoir examiné le stock à intervalles réguliers, on commande la quantité suffisante pour reconstituer le stock par rapport à un niveau appelé dotation. [Rossi-Tuck *et al.*, 2004] énumère les défaillances de cette gestion :

1. les demandes varient selon les programmes opératoires,
2. les articles sont gérés indépendamment les uns des autres alors qu'ils sont complémentaires et interdépendants,
3. le besoin exact n'est pas considéré comme l'élément déclenchant de la commande.

A notre connaissance, peu sont les travaux qui se sont intéressés à l'approvisionnement des plateaux médico-techniques. On distingue dans la littérature deux méthodes. La première est une méthode descriptive, propre au bloc opératoire, et ne repose sur aucun critère d'optimisation. La deuxième cherche à optimiser les niveaux du stock ; elle est inspirée du milieu industriel.

Le système de chariots de cas est conçu spécifiquement pour réapprovisionner le bloc opératoire selon le programme opératoire établi préalablement. On entend par chariots de cas, un chariot contenant les outils nécessaires par intervention. [Vovyeau et Miller, 1985 ; Gallousis, 1990] considèrent que le système de chariots de cas est facile à utiliser et qu'il constitue la façon la plus logique de réapprovisionner le bloc opératoire puisqu'il fournit les produits nécessaires au bon endroit et au bon moment. On décompose la gestion du système de chariots de cas en sept activités :

1. Commander le chariot de cas : le personnel du bloc prépare une commande de chariot de cas pour chaque intervention chirurgicale planifiée au programme opératoire. Ces réquisitions doivent être acheminées à la centrale de distribution dès que possible.
2. Préparer le chariot de cas : les réquisitions reçues à la centrale de distribution sont traitées selon la séquence du programme opératoire.
3. Transporter le chariot de cas au bloc opératoire : les chariots préparés sont expédiés au bloc opératoire le soir précédent, pour les cas prévus.
4. Vérifier le chariot de cas : avant d'être utilisés, les chariots sont inspectés par une infirmière du bloc opératoire, afin de s'assurer de la présence et de la conformité de tous les produits requis.
5. Placer le chariot de cas : au moment opportun, une infirmière achemine le chariot approprié à la salle d'opération par le corridor stérile. Le chariot peut être utilisé à titre de table de travail.
6. Retourner le chariot de cas : après avoir récupéré les fournitures inutilisées lors de l'intervention chirurgicale, une infirmière plonge les instruments souillés et contaminés dans un bassin d'eau stérilisé qu'elle place sur une tablette du chariot. Ce dernier est ensuite couvert et retourné à la centrale de stérilisation.
7. Laver et décontaminer le chariot de cas : à la centrale de stérilisation, les chariots et les instruments sont introduits dans l'aire souillée. Une fois le chariot vide, il est passé dans un laveur ou nettoyé manuellement.

Ainsi, la méthode de chariot de cas nécessite une multitude de chariot d'où le problème d'encombrement.

[Rossi-Turck *et al.*,2004] optent pour une approche proactive et dynamique qui tient compte d'une part du besoin réel en quantité et également de la date à laquelle s'exprime ce besoin. Les auteurs ont mené une étude sur le site pilote du « Centre Hospitalier Hornu-Frameries » en Belgique pour le premier trimestre 2002. L'étude a porté sur la discipline orthopédique. On montre que l'approche MRP2/kits a conduit à un gain d'une part, au niveau du stock de l'ordre de 65%, et d'autre part, au niveau de la réduction du temps passé par le personnel infirmier aux tâches logistiques de l'ordre de 44%.

La méthode MRP2/kits appliquée à l'approvisionnement des salles d'opération suppose que les entrepôts en amont (le magasin du bloc et le magasin central) sont à capacité illimitée. Toutefois, ceci est loin d'être réel. Une des caractéristiques des systèmes de soins est la capacité très limitée des magasins. Ainsi, cette méthode ne peut pas être appliquée pour les fournitures dont les délais de livraison sont importants. D'autre part, il s'agit de définir des kits standard et spécifiques. Toutefois, chaque patient a sa propre méthode de travail. De ce fait, le nombre de kits spécifiques est très important.

### 2.3 Conclusion

Les approches proposées pour l'approvisionnement du PMT ou des unités de soins sont la plupart descriptives sans être évaluées en termes de coût de stockage et coût de manutention. La méthode proposée MRP2/kits pour l'approvisionnement du PMT ne tient pas compte des contraintes de capacités d'entreposage. De ce fait, il s'avère intéressant de développer une

méthode d'approvisionnement des matériels avec objectif minimisation des coûts stockage et des coûts de manutention en respectant les contraintes : capacité de stockage et non rupture de stock.

### 3 Etat de l'art sur l'interaction entre flux patients et matériels

Le bloc opératoire est l'entité où les matériels ainsi que les fournitures médicales et chirurgicales doivent être disponibles au bon moment, au bon endroit et en quantité suffisante pour que les interventions chirurgicales se déroulent sans annulation. Les méthodes traditionnelles ne tiennent pas compte de la date précise du besoin. En se basant sur la règle « faut pas manquer », ces méthodes ont fait gonfler les stocks en égard aux besoins réels. De ce fait, il s'avère impératif de synchroniser entre le besoin réel du bloc opératoire exprimé en interventions chirurgicales programmées et l'approvisionnement des matériels.

A notre connaissance, peu les travaux qui ont abordé le problème de synchronisation des deux flux matériels et patients. [Rossi-Turck *et al.*, 2004 ; Rossi-Turck *et al.*, 2002] proposent une approche hiérarchique flux patients- flux matériels. Le plan directeur de production PDP définit l'échéancier des interventions. Le calcul des besoins consiste à définir à partir du planning prévisionnel des interventions à réaliser PDP les besoins en ressources.

[Rossi-Turck *et al.*, 2002] cherchent à allouer, de la manière la plus efficiente possible, les salles du bloc aux activités à réaliser sachant que les salles sont en nombre limité et que les activités sont concurrentes entre elles. Il s'agit d'un problème classique d'optimisation sous contraintes que l'on aborde via la programmation mathématique. La fonction objectif consiste à maximiser l'adéquation de chaque salle à chaque type d'intervention. On choisit la méthode MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) pour définir les adéquations des salles aux disciplines chirurgicales.

[Rossi-Turck *et al.*, 2004 ; Rossi-Turck *et al.*, 2002] calculent les besoins découlés par le PDP en se basant sur le principe du MRP2 ( Manufacturing Resources Planning). Le MRP est une méthode de calcul des besoins nets en composants à partir de la connaissance que l'on a de l'échéancier des besoins en produits finis. Le MRP2 ajoute au MRP le contrôle des capacités effectivement disponibles. Il vérifie l'adéquation capacité/charge en comptabilisant de manière prévisionnelle les ressources qui sont mobilisées directement ou indirectement par la production. La mise en œuvre du calcul des besoins nécessite la connaissance de plusieurs éléments fondamentaux à savoir : la nomenclature des interventions chirurgicales, le planning prévisionnel des interventions, les stocks disponibles, la taille des lots, la connaissance des délais de livraison.

L'approche proposée par [Rossi-Turck *et al.*, 2004] ne tient compte ni des capacités des magasins blocs et central ni du temps alloué aux infirmières du bloc consacré aux activités logistiques.

### 4 Conclusion

Notre champ d'étude se limite au plateau médico-technique PMT, ressource goulot et coûteuse des établissements de soins. Notre étude porte sur la logistique des services : flux patients et la logistique classique : flux matériels. Caractérisé d'une part par des perturbations : durées non déterministes, données incertaines, arrivée des urgences, et d'autre part d'un surcoût de stockage, le PMT exige de plus en plus un outil robuste et flexible

permettant de : (1) gérer les perturbations, (2) minimiser les coûts d’approvisionnement et (3) synchroniser les deux flux patients et matériels.

La majorité des approches proposées pour le pilotage du PMT s’intéressent séparément aux flux patients et flux matériels. Nous proposons une démarche hiérarchisée flux patients – flux matériels. Le pilotage des flux patients suit une approche robuste et flexible qui permet de prendre en compte les perturbations type urgences et les incertitudes sur le nombre des interventions qui peuvent survenir présentée dans le chapitre 4. Le pilotage des flux matériels est considéré à travers deux approches : l’approche chaîne d’approvisionnement et l’approche cyclique présentées dans le chapitre 5.

## Chapitre 4. La programmation opératoire

Comment établir le programme opératoire ? Etablir le programme opératoire revient tout d'abord à affecter les différentes ressources, matérielles et humaines, nécessaires à chacune des interventions. [Jebali, 2004] modélise le bloc opératoire en représentant les différentes étapes et phases d'une intervention ainsi que les ressources qui interviennent : équipe chirurgicale, équipe anesthésiste, salle d'opération, lit dans la salle des soins post-interventionnelle (SSPI) dite salle de réveil.

Toutefois, le programme opératoire n'est pas souvent respecté à cause des perturbations nombreuses qui constituent une réalité du bloc opératoire. Dans ce contexte incertain, Il est indispensable de proposer une approche robuste permettant de garantir la performance du programme opératoire en présence des aléas.

On établira dans ce chapitre une programmation opératoire prédictive-réactive permettant de prendre en compte les aléas type urgences et les incertitudes sur le nombre des interventions qui peuvent survenir. On s'attachera à étudier la robustesse et la flexibilité de l'approche proposée.

### 1 Le champ d'étude et les hypothèses

Notre étude se limite à un type bien particulier d'établissements, à savoir les établissements privés à but lucratif et un type bien particulier des plateaux médico-techniques : plateau pluridisciplinaire regroupant différentes spécialités s'intéressant qu'à la chirurgie réglée. La problématique programmation opératoire se réduit au problème d'affectation des interventions aux différentes salles d'opération.

En effet, la particularité des établissements à but lucratif consiste dans le fait que le problème de l'affectation des chirurgiens aux différentes interventions n'existe pas. En effet, chaque chirurgien intervient sur sa propre clientèle, une clientèle sur laquelle ce même chirurgien a porté un diagnostic dans son cabinet « en ville ».

Il est de même pour le personnel infirmier. Afin que le personnel infirmier soit polyvalent, le responsable du bloc assure au cours du temps une rotation dans toutes les salles d'opération. Ainsi, le problème de l'affectation d'une équipe chirurgicale à une intervention n'est pas à prendre en considération.

Les médecins anesthésistes peuvent être mutualisés. Ils assistent à différentes interventions à la fois, ils ne sont pas obligés d'être présents pendant la totalité de l'intervention chirurgicale sauf lors des phases d'induction et de réveil. [Marcon, 2003] a abordé le problème de la mutualisation des médecins anesthésistes. Nous n'aborderons pas ici le problème de l'affectation de l'équipe anesthésiste.

En nous limitant au plateau médico-technique (salles d'opération et salle de réveil), nous avons défini deux classes de travaux : (1) une programmation centrée sur les salles

d'opération seules ; et (2) une programmation centrée sur les salles d'opération et la salle de réveil. [Jebali, 2004] précise que le choix de l'une des deux approches dépend du dimensionnement de la salle de réveil. Une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération suppose un dimensionnement adéquat du nombre de lits de la salle de réveil et du nombre d'infirmières de la SSPI par rapport au nombre de salles d'opération. [Jebali, 2004 ; Dexter et Thinker, 1995] ont montré qu'une salle d'opération a besoin de 1.5/2.0 lits dans la SSPI. Nous intéressons à l'établissement d'une programmation opératoire dans des plateaux médico-techniques bien dimensionnés. Ainsi le problème d'affectation des interventions dans la salle de réveil ne se pose pas.

Nous avons retenu trois techniques de programmation centrées sur les salles d'opération : la programmation ouverte, la programmation par pré-allocation des plages horaires et la programmation par pré-allocation des plages avec processus d'ajustement. La programmation ouverte est appliquée dans le cas où chaque service médical a son propre bloc. Le processus d'ajustement nous offre un degré de liberté permettant des modifications en cas de nécessité : urgence, prolongation d'opération, etc. Ainsi, il sera nécessaire d'adopter la programmation par pré-allocation des plages avec processus d'ajustement.

Notre terrain d'étude est la clinique Belledonne à Grenoble, France, qui dispose de cinq salles d'opération dont une est sous-chargée, considérée comme salle de secours. La salle de réveil dispose de sept lits : quatre dans la salle de réveil proprement dite et trois dans la salle de préparation. On peut donc conclure que le bloc est bien dimensionné. Nous développerons ici une programmation opératoire centrée sur les salles d'opération.

## 2 L'approche proposée

Une revue de littérature montre, à notre connaissance, l'absence des travaux sur une programmation opératoire robuste et flexible. Nous cherchons à la fois : (1) l'amélioration de la qualité des soins afin de satisfaire la clientèle et, (2) la maximisation d'exploitation du PMT tout en proposant une approche robuste et flexible permettant de prendre en compte les différentes perturbations qui peuvent surgir.

La qualité des soins offerte à la clientèle est mesurée par le temps d'attente. Afin de satisfaire le patient, nous cherchons à minimiser son temps d'attente, autrement dit, à éviter le report des interventions programmées. L'idée est d'une part, de ne pas perturber l'état psychologique du patient ainsi que de sa famille et d'autre part, de minimiser le temps de séjour dans l'hôpital à attendre la disponibilité des ressources aussi bien matérielles qu'humaines du bloc opératoire.

Une heure d'utilisation d'une salle opératoire coûte environ 450 euros par jour [Teil, 2002]. [Hemery, 2001] montre que le PMT répond à la règle de l'économie d'échelle : en augmentant le nombre d'actes réalisés, on minimise le coût par acte. Il serait intéressant ainsi de maximiser l'exploitation du bloc opératoire, plus précisément, le pourcentage d'exploitation des plages. En effet les chirurgiens souhaitent réserver des plages plus importantes que leurs charges. Notre objectif sera d'ajuster la charge « demande hebdomadaire » à la capacité « plage ».

[Rossi, 2003] définit la robustesse d'un ordonnancement comme étant la garantie de performances offerte par un ordonnancement en présence d'aléas possibles. Les solutions « robustes » sont les solutions dont les performances sont aussi peu sensibles aux aléas que

possible. De ce fait, nous proposerons une approche robuste permettant de gérer les perturbations sans modification du PDA initial.

La flexibilité s'exprime en ordonnancement à travers les possibles modifications que l'on peut apporter à l'ordonnancement calculé en statique (hors ligne), modifications entraînant une perte de performance acceptable [Ghota, 2002]. Ainsi, nous établissons une approche flexible en ligne permettant de gérer les aléas en minimisant le nombre de modifications apportées au PDA initial.

Nous proposons une programmation opératoire basée sur la pré-allocation des plages avec processus d'ajustement. Cette approche se répartit sur les trois niveaux de planification : (1) tactique, il s'agit de construire le PDA sur un horizon de trois mois au moins ; (2) opérationnel, il s'agit d'affecter les interventions sur un horizon d'une semaine ; et (3) temps réel, il s'agit d'agir afin de prendre en compte les aléas. On recourt à l'ajustement du PDA en cas de non-performance du PDA. Deux événements peuvent être cause d'une dégradation de la performance du PDA : (1) la variation des fréquences des types d'interventions, et par suite la variation du volume hebdomadaire des chirurgiens ; et (2) l'occurrence d'aléas lors de l'application du PDA : arrivée d'une urgence, prolongation de certaines interventions chirurgicales.

Une approche prédictive modélisée par un algorithme hors ligne sera proposée et appliquée chaque semaine pour les différents scénarios. On aura recours à un algorithme réactif en ligne dans le cas de l'occurrence d'un aléa ou de la non performance de l'approche hors ligne. Il s'agit d'une approche prédictive-réactive. Dans l'annexe 1, nous présentons les différentes approches industrielles permettant de prendre en compte les aléas, y compris l'approche prédictive-réactive.

Les incertitudes sont présentées par des modèles par scénarios. Dans le cas d'ensembles discrets, on obtient un nombre fini mais potentiellement important de scénarios. Un scénario représente un jeu de données dont les valeurs numériques appartiennent aux intervalles définis. Dans l'annexe 1, nous présentons les différentes méthodes de modélisation de l'incertain y compris les modèles par scénarios.

Le modèle par scénarios a été adopté dans le milieu hospitalier par [Kharraja *et al.*, 2004] afin d'évaluer le comportement du PDA par rapport aux différents scénarios. Un scénario représente un « ensemble » de schémas appartenant chacun à l'un des chirurgiens. Le schéma d'un chirurgien représente le nombre de chaque type d'interventions de ce dernier. La demande hebdomadaire par chirurgien (PPH) est déterminée pour tout chirurgien. La génération des schémas et leur combinaison se font d'une façon aléatoire.

Nous proposons deux définitions de scénarios. La première, inspirée de [Kharraja *et al.*, 2004], peut être appliquée dans le cas où on permettrait de modifier les plages des chirurgiens. Dans le cas contraire, on adopte la deuxième définition inspirée de [AAI.Etien, 2004]. L'idée est d'appliquer l'algorithme hors ligne sur les différents scénarios les plus probables. L'objectif est d'obtenir un ordonnancement performant quelque soit le scénario.

1. Définition 1 : Un scénario représente l'ensemble des schémas de chaque chirurgien. Le schéma d'un chirurgien est le nombre d'interventions par type [Kharraja, 2004]. Il faut noter que la demande hebdomadaire PPH des chirurgiens peut varier d'un schéma à un autre. Nous proposons d'étudier les scénarios les plus probables. De ce fait, nous procédons ainsi :



- a. Nous supposons que chaque schéma  $i$  d'un chirurgien  $j$  a une probabilité d'occurrence :  $p_{ij}$ . (nous déterminons les probabilités à travers l'historique).
- b. Nous définissons pour chaque chirurgien les  $m$  schémas les plus probables.
- c. Nous redéfinissons la probabilité des  $m$  schémas retenus de chaque chirurgien :

$$p'_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{i=1}^m p_{ij}}$$

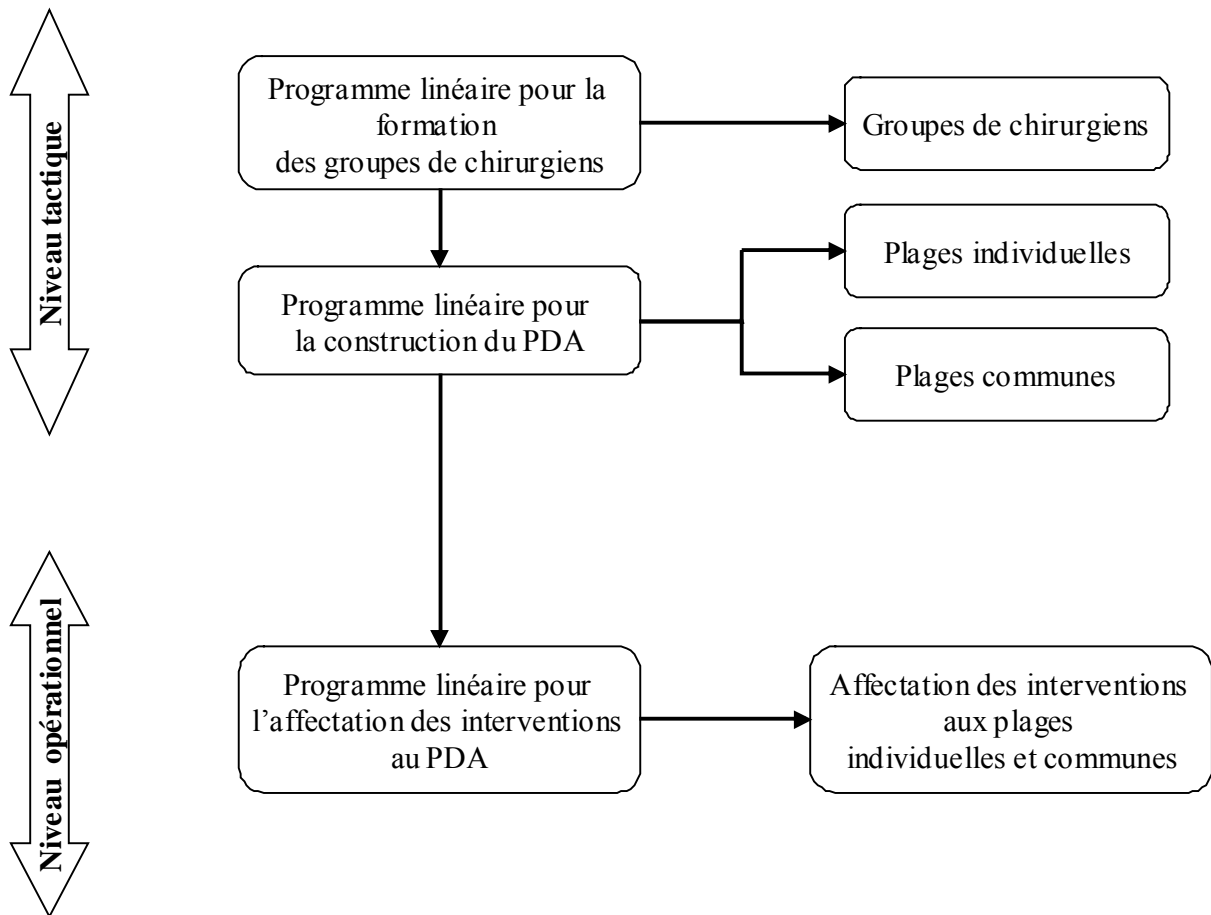
- d. Nous énumérons tous les scénarios : nous distinguons  $m^{nb\_chir}$  combinaisons des schémas.
  - e. Nous proposons d'étudier les scénarios les plus probables par une analyse A-B-C.
2. Définition 2 : Dans le cas où la possibilité d'une modification du PDA ne serait pas envisageable parce que les chirurgiens refusent des pavés opératoires de tailles différentes de ceux qu'ils avaient la semaine précédente et éventuellement à des jours différents, nous proposons de reporter l'intervention. Toutefois, cette possibilité dépend du scénario prévu pour la semaine suivante ; il s'agit de savoir s'il est possible d'insérer l'intervention reportée. De ce fait nous proposons les définitions des scénarios données par [AAI. Etien, 2004]. Un scénario est défini comme étant la spécification du schéma de chaque chirurgien, pour une période donnée de l'horizon de planification. Nous proposons d'étudier les  $n$  scénarios les plus probables. Chaque scénario est réalisé avec une probabilité donnée  $p_i$ . Nous ajustons la probabilité de chaque scénario  $p'_i$ . Une combinaison de scénarios est obtenue en spécifiant pour

chaque période, quel est le scénario choisi.  $p'_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$

Nous adoptons la première définition. En effet, une meilleure performance du bloc opératoire nécessite la coopération de tous les acteurs : direction, responsable du bloc, chirurgien, médecin anesthésiste. Ainsi, afin de garantir un travail dans les meilleures conditions, toute modification est envisageable pour la satisfaction du patient et pour l'obtention d'une meilleure qualité et d'un rendement optimal de l'établissement considéré.

## 2.1 L'approche prédictive

Elle consiste en une méthode d'affectation des interventions. C'est la programmation opératoire prédictive. Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous adoptons la technique de l'allocation des plages avec processus d'ajustement. De ce fait, il s'agit de proposer dans un premier temps une méthode de construction du PDA et dans un deuxième temps, une méthode d'affectation des interventions aux plages horaires. L'approche prédictive est présentée dans la figure 4-1.



**Figure 4-1. Approche prédictive**

Nous décrivons les différentes étapes de l'approche prédictive proposée qui se déclinent sur deux niveaux de planification [Hammami *et al.*, 04]:

1. tactique : après avoir formé les différents groupes de chirurgiens, nous affectons des plages aux différents groupes et chirurgiens.
  - a. programme linéaire pour la formation des groupes de chirurgiens : un groupe de chirurgien sera constitué par l'ensemble des chirurgiens qui partagent la même spécialité et qui s'entendent entre eux.
  - b. programme linéaire pour la construction du PDA : il s'agit de construire un PDA composé par des plages individuelles et des plages communes.
2. opérationnel : à la fin de chaque semaine, nous affectons les interventions de la semaine suivante aux différentes plages.
  - a. programme linéaire pour l'affectation des interventions au PDA : il s'agit d'affecter des plages individuelles aux chirurgiens et des plages communes aux groupes de chirurgiens.

L'idée est de proposer un PDA robuste par la formation de groupes de chirurgiens qui partagent la même spécialité et qui s'entendent entre eux. La formation d'un groupe de chirurgiens offre des degrés de liberté permettant la permutation des plages des chirurgiens appartenant au même groupe. Les heures d'ouverture du PMT seront réparties entre les différents groupes de chirurgiens. Le PDA est formé par des plages individuelles pour chaque chirurgien de groupe et des plages communes à ce groupe. La formation des groupes offre ainsi une certaine flexibilité sur les affectations :

1. en minimisant le nombre de groupes de chirurgiens. De ce fait, on aura plus de chirurgiens dans un groupe ce qui augmente les chances de permuter entre les plages des chirurgiens appartenant au même groupe en cas de surcharge d'une plage ou de sous charge.
2. en formant des plages communes aux chirurgiens appartenant au même groupe afin d'insérer des aléas dans ces plages.

Après avoir construit le PDA, nous affectons les différentes interventions de la semaine considérée aux différentes plages individuelles et communes. L'affectation des interventions se fait en priorité aux plages individuelles, s'il reste des interventions, nous les affectons aux plages communes [Hammami *et al.*, 2004 b].

### 2.1.1 Programme linéaire pour la formation des groupes de chirurgiens

Il consiste à déterminer les différents groupes de chirurgiens. Un groupe de chirurgiens est formé par des chirurgiens qui peuvent collaborer entre eux. Dans le contexte de la flexibilité, nous visons à diminuer le nombre de groupes de chirurgiens : moins il y a de groupes, plus les chirurgiens sont groupés et plus il y a de choix qui s'offrent aux décideurs.

Afin de déterminer l'ensemble des groupes possibles, nous proposons de collaborer avec le responsable du bloc qui a une connaissance des habitudes des différents chirurgiens et le niveau d'entente.

Il s'agit d'un problème de recouvrement par des cliques, au sens de la théorie des graphes. Dans notre cas, les nœuds représentent les chirurgiens et les arêtes relient les chirurgiens qui peuvent être dans le même groupe. Une clique, au sens de la théorie des graphes, est par définition un graphe cyclique comportant des chirurgiens qui peuvent s'entendre entre eux. Un chirurgien ne peut appartenir qu'à une seule clique. Le problème consiste donc à chercher le minimum de cliques disjointes couvrant tous les chirurgiens.

Soit  $A = [a_{ij}]$  la matrice  $m \times n$  : les lignes représentent les chirurgiens et les colonnes représentent les cliques possibles.  $a_{ij} = 1$ , si le chirurgien  $i$  appartient à la clique  $j$ , 0 sinon.

Le problème revient à un problème de partitionnement : il s'agit de chercher le vecteur  $x$  tel que  $Ax = 1$ , afin que chacun des chirurgiens appartienne à un seul groupe. Le problème du recouvrement par des cliques est un problème NP-difficile [Garey et Johnson, 2000].

Nous avons modélisé le problème par un modèle mathématique linéaire avec comme objectif la minimisation du nombre des groupes formés.

*Données.*

- $m, n$  : nombre de chirurgiens, nombre de cliques possibles,
- $A$  : matrice (chirurgiens, cliques possibles)

*Les variables de décision.*

- $x \in \{0,1\}^n$  tel que  $x_i = 1$ , si la clique  $i$  est choisie, 0 sinon.

*Programme linéaire.*

Fonction objectif

$$\bullet \quad \text{MIN} \sum_{l=1}^n x_l \quad (1)$$

Sous les contraintes

$$\bullet \quad \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j = 1, \text{ pour tout } i=1..n, \quad (2)$$

L'équation (1) permet de minimiser le nombre de groupes formés. La contrainte (2) traduit que les groupes pris en compte sont disjoints mais couvrent tous les chirurgiens.

Toutefois, afin d'éviter tout conflit entre les différents groupes de chirurgiens, il est souhaitable que ces groupes aient des charges équitables. Ainsi, nous visons à former le moins de groupes de chirurgiens possible avec des charges hebdomadaires qui soient équitables [Hammami *et al.*, 04 b]. C'est un problème bi critères.

Dans la dernière décade, différentes techniques dédiées aux décisions multicritères ont été développées. Parmi les plus connues [Romero, 1991], on distingue : *Goal Programming* (GP) [Zeleny, 1982], *Compromise Programming* (CP) [Vierzbicki, 1982] et *The Reference Point Method* (RPM) [Tamiz *et al.*, 1998]. Les trois techniques visent à minimiser la distance séparant le point achevé pour chaque objectif et un certain point de référence. Selon la méthode GP, ce point représente un ensemble de cibles qui peuvent ou non être atteints simultanément. Le point est représenté par CP, comme étant le point idéal, normalement non réalisable, correspondant à la valeur optimale pour chacun des objectifs. Pour la méthode RPM, ce point représente un niveau de référence qui joue le rôle d'un outil de contrôle utilisé par les décideurs.

La méthode GP est la plus utilisée parmi les techniques de décisions multicritères [Romero, 1991]. [Tamiz *et al.*, 1998] indiquent que les poids dans GP sont introduits dans deux objectifs : (1) normaliser les objectifs, et (2) indiquer les préférences des décideurs.

Dans notre modèle, nous avons fixé deux objectifs : (1) minimiser le nombre des groupes de chirurgiens, et (2) équilibrer les charges des groupes de chirurgiens. Les deux objectifs n'ont pas la même unité de mesure. Le premier est exprimé en heures de travail, le second en nombre de groupes. De ce fait, nous proposons de normaliser les objectifs en multipliant le premier objectif par le rapport du nombre total des charges des chirurgiens et le second par le rapport du nombre total des cliques possibles.

*Les données.*

- Le nombre de chirurgiens, le nombre de cliques possibles :  $m, n$ .
- La matrice  $A = (a_{ij})$
- Les demandes hebdomadaires par clique :  $C_j$
- Les écarts des charges entre les différents groupes en valeur absolue :  $\theta_{ij} = |C_i - C_j|$
- $w_1, w_2$  : poids respectifs du premier et second objectifs.

Les variables de décision.

- $x \in \{0,1\}^n$  tel que  $x_i=1$ , si la clique  $i$  est choisie, 0 sinon.

Nous avons obtenu un modèle non linéaire donné dans l'encadré 4-1. La fonction objectif est présentée par l'équation (3) et la contraintes par l'équation (4).

*Objectif*

- minimiser le nombre des groupes de chirurgiens et équilibrer les charges des groupes.

$$\text{MIN } w_1 \sum_{l=1}^n x_l + w_2 \sum_{l=1}^n \sum_{j=l+1}^n x_l x_j \theta_{lj} \quad \text{avec } w_1 = \frac{1}{n}, w_2 = \frac{1}{\sum C_j} \quad (3)$$

Sous les contraintes

- Contrainte (4) : chaque chirurgien est couvert par une seule clique

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_j = 1, \text{ pour tout } i=1..n, \quad (4)$$

#### Encadré 4-1. Programme non linéaire pour la formation des groupes de chirurgiens

Le modèle obtenu est non linéaire (la fonction objectif). Afin de linéariser ce modèle, nous

définissons la variable binaire  $y_{ij}$  telle que :

$$\begin{aligned} y_{ij} &= x_i \times x_j, \\ x_i + x_j &\leq y_{ij} + 1 \end{aligned}$$

Nous obtenons ainsi le modèle linéaire présenté dans l'encadré 4-2.

*Objectif.* minimiser le nombre des groupes de chirurgiens et équilibrer les charges des groupes.

$$\text{MIN } w_1 \sum_{l=1}^n x_l + w_2 \sum_{l=1}^n \sum_{j=l+1}^n y_{lj} \theta_{lj} \quad (5)$$

*Sous les contraintes.*

-Contrainte (6) : chaque chirurgien est couvert par une seule clique

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_j = 1, \text{ pour tout } i=1..n, \quad (6)$$

-Contraintes (7) : linéarisation de la fonction objectif

$$x_i + x_j \leq y_{ij} + 1, \quad (7)$$

-Contrainte (8) : variables binaires

$$y_{ij}, x_j \in \{0,1\} \quad (8)$$

#### Encadré 4-2. Programme linéaire pour la formation des groupes de chirurgiens

### 2.1.2 Programme linéaire pour la construction du plan directeur d'allocation PDA

Lors de leur construction, nous cherchons à maximiser la flexibilité des plages horaires. Cette flexibilité sera traduite par :

- La minimisation du nombre des plages allouées aux différents chirurgiens : il s'agit de maximiser la durée des plages individuelles, autrement dit, de minimiser le nombre des plages individuelles par chirurgien.
- L'introduction de plages communes aux différents chirurgiens d'un même groupe : ces dernières permettent d'absorber les aléas qui peuvent surgir.

Nous supposons que nous disposons d'une part, de la demande hebdomadaire (moyenne et écart type) de chacun des chirurgiens, en se basant sur l'historique (moyenne et écart type) et d'autre part, du nombre hebdomadaire des différents types d'interventions (moyenne et écart-type). Pour des raisons de modélisation et afin de construire les plages communes, nous introduisons pour chacun des groupes de chirurgiens, un chirurgien fictif dont la demande hebdomadaire moyenne est l'écart type du groupe de chirurgiens et le nombre hebdomadaire d'interventions de type  $t$  est l'écart type du nombre des interventions de ce type du groupe de chirurgiens. Le problème consiste à répartir les heures d'ouverture des salles d'opération entre les différents groupes (plages communes) et les différents chirurgiens (plages individuelles). Par conséquent, le nombre de chirurgiens sera augmenté par le nombre de chirurgiens fictifs correspondant à chacun des groupes. La plage affectée au chirurgien fictif est la plage commune du groupe de chirurgiens auquel appartient ce chirurgien fictif. Nous avons formulé ce problème sous forme d'un modèle mathématique linéaire.

*Données.*

- $nbre\_jours$ ,  $nbre\_salles$ ,  $nbre\_chir$ ,  $nbre\_types$ ,  $nbre\_GC$  : données relatives au nombre de jours à programmer, nombre de salles, nombre de chirurgiens (on inclut les chirurgiens fictifs de chacun des groupes), nombre de types d'interventions, et nombre de groupes chirurgicaux.
- $M$  : une grande valeur,
- $Cap_m$  : durée d'utilisation de la salle d'opération  $m$  par jour,
- $d_{it}$  : durée associée à l'intervention de type  $t$  du chirurgien  $i$ ,
- $PPH_i$  : moyenne de la demande hebdomadaire du chirurgien  $i$ , basée sur l'historique.
- $N_{it}$  : moyenne du nombre hebdomadaire d'interventions de type  $t$  effectuées par le chirurgien  $i$ ,
- $\sigma_{ik} = 1$  si le chirurgien  $i$  est disponible le jour  $k$ , 0 sinon,
- $\delta_m = 1$ , si l'intervention de type  $t$  peut être effectuée dans la salle d'opération  $m$ .
- $Pa\_Max$  : durée maximale que nous pouvons allouer à une plage d'un chirurgien

*Variable de décision.* Sont les plages individuelles de chacun des chirurgiens et les plages communes de chacun des groupes de chirurgiens.

- $Pa\_op_{ikm}$  : pavé opératoire qui sera alloué au chirurgien  $i$ , le jour  $k$ , dans la salle  $m$ ,
- $Pa\_C_{lkm}$  : pavé opératoire commun qui sera alloué au groupe de chirurgiens  $l$ , le jour  $k$ , dans la salle  $m$ ,
- $x_{ikim}$  : nombre d'interventions de type  $t$ , réalisées le jour  $k$  par le chirurgien  $i$  dans la salle  $m$ .
- $z_{ikm} = 1$ , si le chirurgien  $i$  est affecté à la salle  $m$  le jour  $k$ , 0 sinon.

*Programme linéaire.* Nous obtenons un programme linéaire mixte présenté dans l'encadré 4-3.

Fonction objectif :

-Il s'agit de minimiser le nombre des plages individuelles (respectivement les plages communes) allouées aux différents chirurgiens (respectivement aux groupes de chirurgiens).

MIN  $Z$

Sous les contraintes :

-les contraintes (9) respectent la demande hebdomadaire de chaque chirurgien

$$\sum_{k=1}^{nbre\_jours} \sum_{m=1}^{nbre\_salles} Pa\_op_{ikm} \geq PPH_i, \text{ pour tout } i=1..nbre\_chir \quad (9)$$

-les contraintes (10) respectent la capacité des salles d'opérations

$$\sum_{i=1}^{nbre\_chir} Pa\_op_{ikm} \leq Cap_m, \text{ pour tout } m=1..nbre\_salles \text{ et } k=1..nbre\_jours \quad (10)$$

-les contraintes (11) permettent de construire les plages horaires

$$Pa\_op_{ikm} \geq \sum_{t=1}^{nbre\_types} x_{ikim} d_{it} \text{ pour tout } k=1..nbre\_jours \text{ et } i=1..nbre\_chir, m=1..nbre\_salles \quad (11)$$

-les contraintes (12) déterminent les plages communes

$$Pa\_C_{lkm} = Pa\_op_{lkm}, \text{ pour tout } i=l, k=1..nbre\_jours, m=1..nbre\_salles, l=1..nbre\_GC \quad (12)$$

-les contraintes (13) respectent le nombre de chaque type d'interventions

$$\sum_{k=1}^{nbre\_jours} \sum_{m=1}^{nbre\_salles} x_{ikim} \geq N_{it}, \text{ pour tout } i=1..nbre\_chir, t=1..nbre\_types \quad (13)$$

-les contrainte (14) : un chirurgien ne peut être affecté qu'à une seule salle d'opération pour un jour donné

$$\sum_{m=1}^{nbre\_salles} z_{ikm} \leq 1, \text{ pour tout } i=1.. nbre\_chir, k=1.. nbre\_jours \quad (14)$$

-les contraintes (15) : relation entre variables binaires et réelles

$$M \times z_{ikm} \geq Pa\_op_{ikm} \text{ pour tout } i=1.. nbre\_chir, k=1.. nbre\_jours, m=1.. nbre\_salles \quad (15)$$

-les contraintes (16) permettent de déterminer le nombre maximal de plages affectées à chaque chirurgien et éventuellement aux groupes de chirurgiens

$$Z \geq \sum_{m=1}^{nbre\_salles} \sum_{k=1}^{nbre\_jours} z_{ikm}, \text{ pour tout } i=1.. nbre\_chir, \quad (16)$$

-les contraintes (17) permettent de limiter la durée des plages opératoires

$$Pa\_op_{ikm} \leq Pa\_Max, \text{ pour tout } i=1.. nbre\_chir, k=1.. nbre\_jours, m=1.. nbre\_salles \quad (17)$$

-les contraintes (18) permettent de respecter la disponibilité des chirurgiens

$$\sum_m Pa\_op_{ikm} \leq M\sigma_{ik}, \forall i, k \quad (18)$$

-les contraintes (19) permettent de respecter la spécialisation des salles

$$\sum_i \sum_k x_{tikm} \leq M\delta_{tm}, \forall t, m \quad (19)$$

-les contraintes (20) permettent de définir la relation entre les variables réelles et entières

$$M \sum_t x_{tikm} \geq Pa\_op_{ikm}, \forall i, k, m \quad (20)$$

-les contraintes (21) permettent de définir les domaines des variables

$$\begin{aligned} x_{tikm} & \text{entiers } \forall t, i, k, m \\ z_{ikm} & \text{binaires } \forall i, k, m \end{aligned} \quad (21)$$

### Encadré 4-3. Programme linéaire pour la construction du PDA

#### 2.1.3 Programme linéaire pour l'affectation des interventions

Il s'agit dans cette étape d'affecter les interventions prévues pour la semaine suivante aux différentes plages horaires. Notre objectif est de minimiser le nombre des interventions non affectées. Pour cela, nous cherchons tout d'abord à maximiser le nombre des interventions affectées aux plages individuelles. S'il reste encore des interventions, nous les affectons aux plages communes. Toutefois, il faut noter que le chirurgien ne se déplace pour un jour donné et afin d'opérer une intervention affectée à une plage commune que si cette intervention est importante. L'importance de l'intervention est mesurée par sa durée opératoire. L'idée est d'affecter les interventions dans le PDA tel qu'il est sans aucun ajustement. Ce problème est modélisé par un programme linéaire à variables entières.



Données.

- $M$  : grande valeur,
- $DM_i$  : durée minimale imposée par un chirurgien  $i$  pour se déplacer et opérer dans une plage commune,
- $d_{it}$  : durée associée à l'intervention de type  $t$  du chirurgien  $i$ ,
- $NI_{it}$  : le nombre d'interventions du chirurgien  $i$  de type  $t$ ,
- $\delta_{tm} = 1$ , si l'intervention de type  $t$  peut être effectuée dans la salle d'opération  $m$ ,
- $Pa\_op_{ikm}$  : pavé opératoire qui sera alloué au chirurgien  $i$ , le jour  $k$ , dans la salle  $m$ ,
- $Pa\_C_{lkm}$  : pavé opératoire commun qui sera alloué au groupe de chirurgiens  $l$ , le jour  $k$ , dans la salle  $m$ ,
- $a_{il} = 1$ , si le chirurgien  $i$  appartient au groupe  $l$ ,
- $nbre\_jours, nbre\_salles, nbre\_chir, nbre\_types, nbre\_GC$  : données relatives au nombre de jours à programmer, nombre de salles, nombre de chirurgiens (on inclut les chirurgiens fictifs de chacun des groupes), nombre de types d'interventions, et nombre de groupes chirurgicaux.

Variable de décision.

- $x_{tikm}$  : le nombre des interventions de type  $t$  du chirurgien  $i$  affecté à sa plage horaire le jour  $k$  dans la salle  $m$   $Pa\_op_{ikm}$
- $y_{tilkm}$  : le nombre des interventions de type  $t$  du chirurgien  $i$  affecté à la plage commune  $Pa\_C_{lkm}$

Programme linéaire en nombre binaire. Nous présentons dans l'encadré 4-4 le programme linéaire pour l'affectation des interventions.

Objectif : il s'agit de maximiser le nombre des interventions affectées

$$\text{Max } \sum_t \sum_i \sum_k \sum_m 2x_{tikm} + \sum_t \sum_l \sum_i \sum_k \sum_m y_{tilkm}$$

Sous contraintes

-Les contraintes (22) : respect du nombre des interventions par type par chirurgien.

$$\sum_k \sum_m x_{tikm} + \sum_l \sum_k \sum_m y_{tilkm} \leq NI_{it}, \forall t, i \tag{22}$$

-Les contraintes (23) : respect la capacité des plages individuelles.

$$\sum_t^{nbre\_types} x_{tikm} d_{it} \leq Pa\_op_{ikm}, \forall i, k, m \quad (23)$$

-Les contraintes (24) : respect la capacité des plages communes.

$$\sum_i^{nbre\_chir} \sum_t^{nbre\_types} y_{tilkm} d_{it} \leq Pa\_C_{lkm}, \forall l, k, m \quad (24)$$

-Les contraintes (25) : somme des interventions d'un chirurgien, affectées à une plage commune, est supérieure à une durée minimale

$$\sum_t^{nbre\_types} y_{tilkm} d_{it} \geq DM_i, \forall i, l, k, m \quad (25)$$

-Les contraintes (26) : une intervention d'un chirurgien  $i$  est affectée à une plage commune d'un groupe auquel appartient ce chirurgien

$$\sum_k^{nbre\_jours} \sum_m^{nbre\_salles} \sum_t^{nbre\_types} y_{tilkm} \leq Ma_{il}, \forall i, l, \quad (26)$$

-Les contraintes (27) : relation entre variables réelles et entières

$$M \sum_t x_{tikm} \geq Pa\_op_{ikm}, \forall i, k, m$$

$$M \sum_t y_{tilkm} \geq Pa\_C_{lkm}, \forall l, k, m \quad (27)$$

-Les contraintes (28) : respect la spécialisation des salles

$$\sum_i \sum_k x_{tikm} \leq M\delta_{tm}, \forall t, m \quad (28)$$

-les contraintes (29) permettent de définir les domaines des variables

$$x_{tikm} \text{ entiers } \forall t, i, k, m, \quad y_{tilkm} \text{ entiers } \forall t, i, l, k, m \quad (29)$$

**Encadré 4-4. Programme linéaire pour l'affectation des interventions**

## 2.2 L'approche réactive

Nous recourons à l'approche réactive si un aléa surgit lors de l'exécution du programme opératoire prédictif. L'aléa considéré est l'urgence. Il est possible également d'appliquer l'approche réactive à l'instant de l'affectation des interventions si le scénario présenté n'appartient pas à l'ensemble des scénarios les plus probables  $I_A$  dans ce cas il serait possible qu'il reste une intervention non affectée. Nous supposons que nous pouvons reporter des interventions afin d'insérer les cas les plus urgents.

Nous présentons l'approche réactive proposée dans la figure 4-2.

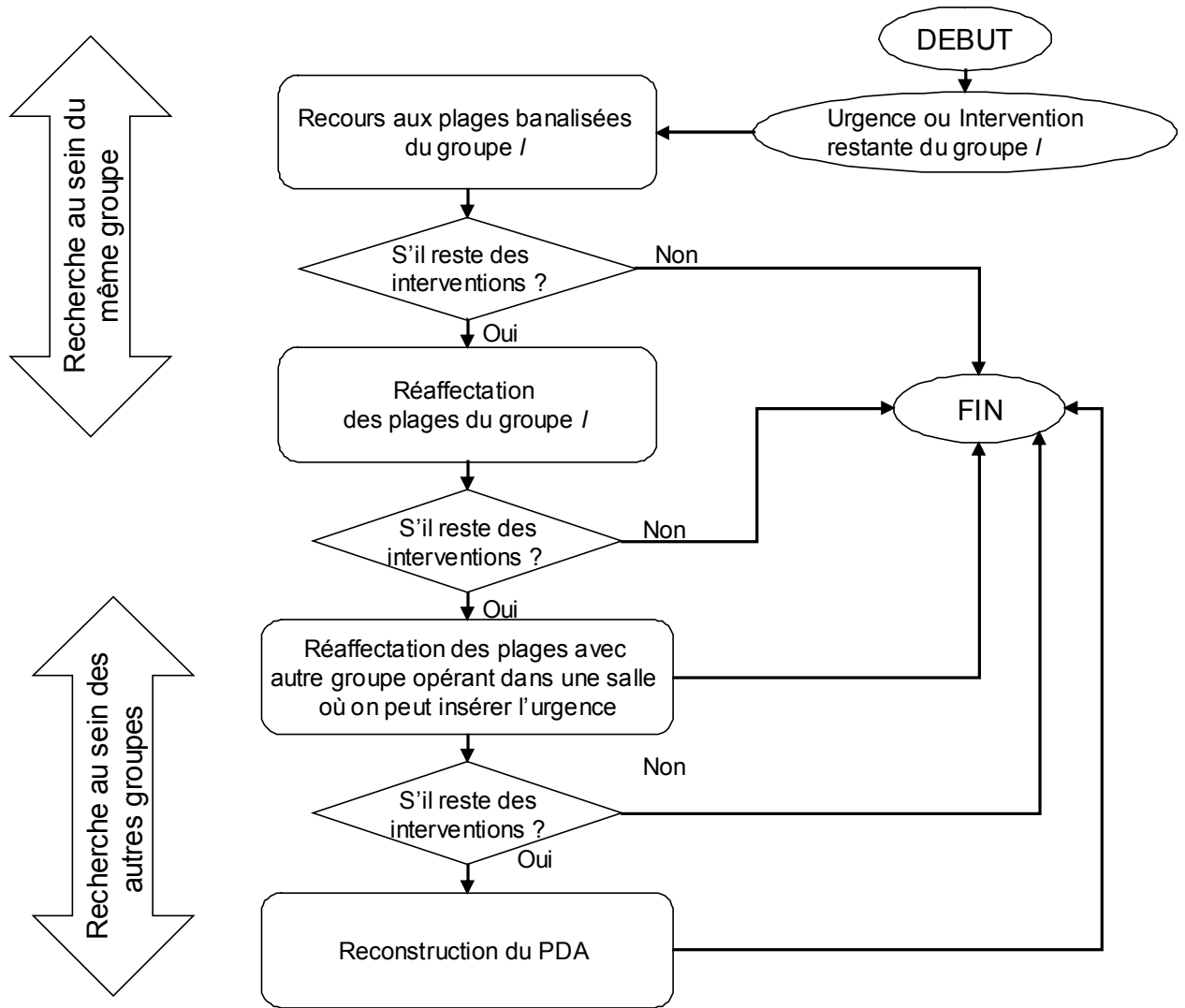


Figure 4-2. Approche réactive

Nous considérons le groupe de chirurgiens «  $l$  » qui prendra en charge l'intervention restante ou l'urgence. Nous résoudrons le problème au sein de ce groupe. Nous recourons dans un premier temps aux plages banalisées. Une plage banalisée est la somme des durées inexploitées aussi bien des plages individuelles des chirurgiens de ce groupe que des plages communes de ce groupe. Si le problème n'est pas encore résolu, nous réaffectons les plages de ce groupe. Dans le cas où ce n'est pas possible, nous recourons aux autres groupes de chirurgiens.

Dans les deux cas (même groupe ou autre groupe), nous permutons les plages avec un autre chirurgien afin de pouvoir insérer l'urgence ou l'intervention restante. Si toutes ces solutions ne sont pas réalisables nous sommes obligés de redéfinir les plages restantes des chirurgiens.

### 2.2.1 Recherche d'une solution au sein du groupe

Soit le chirurgien  $i$  du groupe  $l$ . Nous nous trouvons dans l'un des cas suivants :

- En appliquant l'algorithme hors ligne, il reste une intervention non affectée appartenant à ce chirurgien de type  $t$ .

- Une urgence de type  $t$  appartenant à ce chirurgien arrive à un instant bien déterminé avec une date limite bien déterminée. Nous intéressons à une urgence non vitale de degré 0 : le patient urgent peut attendre quelques jours avant d'être opéré mais doit être pris en charge dans la semaine en cours.

L'idée est d'essayer de résoudre ce problème en recourant aux chirurgiens du même groupe parce que ces derniers partagent la même spécialité et donc les mêmes salles d'opération. L'objectif est de minimiser les modifications apportées au plan directeur initial tout en affectant l'intervention restante du chirurgien  $i$ .

Dans un premier temps, nous proposons de chercher s'il existe du temps non exploité pouvant absorber l'urgence ou l'intervention non affectée. Sinon, il s'agit de réaffecter les plages restantes des chirurgiens de ce groupe.

*Programme linéaire pour le recours aux plages banalisées.*

Il s'agit de calculer les durées inexploitées aussi bien des plages individuelles des chirurgiens du même groupe que des plages communes de ce groupe. Nous affectons l'intervention à la première plage qui peut l'absorber et qui peut satisfaire les deux contraintes : (1) la disponibilité du chirurgien et (2) la date limite de l'intervention à insérer.

Le problème de l'affectation des interventions restantes aussi bien que de l'urgence revient à un problème de sac à dos avec ajout de la contrainte respect de la date limite des interventions et type des interventions. Notre objectif est d'affecter le maximum des interventions restantes. Il est évident que la priorité est donnée aux urgences.

*Modélisation*

Soient :

- $Pa\_Op\_Inexp_{ikm}$  : la plage inexploitée du chirurgien  $i$  le jour  $k$  de la salle  $m$
- $Pa\_C\_Inexp_{lkm}$  : la plage inexploitée du groupe  $l$  le jour  $k$  de la salle  $m$
- $Pa\_Op_{ikm}$  : la plage du chirurgien  $i$  le jour  $k$  de la salle  $m$
- $Pa\_C_{lkm}$  : la plage du groupe  $l$  le jour  $k$  de la salle  $m$
- $Pa\_Ba_{lkm}$  : la plage du groupe  $l$  le jour  $k$  de la salle  $m$
- $n_{ikm}$  : Nombre d'interventions de type  $t$  du chirurgien  $i$  affecté à la plage  $ikm$
- $nc_{ilkkm}$  : Nombre d'interventions de type  $t$  du chirurgien  $i$  affecté à la plage commune  $lkm$
- $NR_{it}$  : Nombre d'interventions restantes de type  $t$  du chirurgien  $i$ ,
- $DL_{it}$  : Date limite de l'urgence du chirurgien  $i$  de type  $t$ ,
- $AR_{it}$  : Date d'arrivée de l'urgence du chirurgien  $i$  de type  $t$ ,
- $M$  : Constante,

*Variables de décisions*

- $Z_{ilkkm}$  : Nombre d'interventions restantes du chirurgien  $i$  de type  $t$  est affecté dans la plage banalisée  $lkm$ ,
- $Y_{ilkkm} = 1$  si l'urgence du chirurgien  $i$  de type  $t$  est affectée à la plage banalisée  $lkm$ ,

Le problème est modélisé par un programme linéaire présenté dans l'encadré 4-5.

Fonction objectif :

$$\text{Max} \sum_l \sum_k \sum_m \sum_i \sum_t M * Y_{itlkm} + Z_{itlkm}$$

Sous les contraintes :

-La plage inexploitée du chirurgien dans une salle donnée pour un jour donné est le résultat de la différence entre la plage de ce chirurgien et la plage exploitée par des interventions déjà affectées dans l'approche prédictive.

$$Pa\_Op\_Inexp_{ikm} = Pa\_Op_{ikm} - \sum_t n_{tikm} d_{it} \quad (30)$$

-La plage inexploitée du groupe de chirurgiens dans une salle donnée pour un jour donné est le résultat de la différence entre la plage de ce groupe et la plage exploitée par des interventions déjà affectées dans l'approche prédictive.

$$Pa\_C\_Inexp_{lkm} = Pa\_C_{lkm} - \sum_t n_{c_{itlkm}} d_{it} \quad (31)$$

-Une plage banalisée d'un groupe de chirurgiens  $l$  le jour  $k$  dans la salle  $m$  est la somme des plages inexploitées des chirurgiens de ce groupe qui utilisent dans le jour  $k$  la salle  $m$ , additionnée par la plage commune de ce groupe ce jour  $k$  dans la salle  $m$ .

$$Pa\_Ba_{lkm} = \sum_{i \in l} Pa\_Op\_Inexp_{ikm} + Pa\_C\_Inexp_{lkm} \quad (32)$$

-Les contraintes (33) : respect de la date limite des urgences,

$$\sum_k \sum_l \sum_m Y_{itlkm} \leq 1 \quad \forall AR_{it} < k < DL_{it} + 1 \quad (33)$$

-Les contraintes (34) : respect de la capacité des plages banalisées

$$\sum_i \sum_t d_{it} (Y_{itlkm} + Z_{itlkm}) \leq Pa\_Ba_{lkm}, \quad \forall l, k \text{ et } m \quad (34)$$

-Les contraintes (35) : respect du nombre des interventions restantes

$$\sum_l \sum_k \sum_m Z_{itlkm} \leq NR_{it} \quad \forall i, t \quad (35)$$

-Les contraintes (36) : une urgence du chirurgien  $i$  sera affectée à la plage banalisée du groupe  $l$  auquel appartient ce chirurgien.

$$Y_{itlkm} \leq a_{il}, \quad \forall i, t \text{ et } l \quad (36)$$

-Les contraintes (37) : les interventions restantes du chirurgien  $i$  seront affectées qu'à la plage banalisée du groupe  $l$  auquel appartient ce chirurgien

$$Z_{itlkm} \leq Ma_{il}, \quad \forall i, t, k, m \text{ et } l \quad (37)$$

-Les contraintes (38) : respect de la date d'arrivée et la date limite de l'urgence

$$\sum_l \sum_k \sum_m Y_{itlkm} = 0 \quad \forall k < AR_{it} \text{ et } k > DL_{it} \quad (38)$$

-Les contraintes (39) : respect de la spécialisation des salles

$$\sum_i \sum_l \sum_k Z_{itlkm} \leq M\delta_{tm} \quad \forall t, m$$

$$\sum_i \sum_l \sum_k Y_{itlkm} \leq M\delta_{tm} \quad \forall t, m \quad (39)$$

-Les contraintes (40) : Domaine des variables

$$Z_{itlkm} \text{ Entiers } \forall i, t, l, k, m \quad Y_{itlkm} \text{ binaires } \forall i, t, l, k, m \quad (40)$$

#### Encadré 4-5. Programme linéaire pour le recours aux plages banalisées

S'il reste encore des interventions non affectées, nous recourons à la réaffectation des plages au sein du même groupe.

*Programme de réaffectation des plages du groupe l.*

Si les plages banalisées ne permettent pas d'absorber l'intervention restante ou l'urgence d'un chirurgien  $i$  du groupe  $l$ , nous réaffectons les interventions restantes aux plages restantes du groupe  $l$ . Il serait intéressant de ne pas trop modifier le PDA initial. Notre objectif est d'affecter l'urgence et de maximiser le nombre des interventions restantes affectées. Une intervention restante, ici, est une intervention qui peut être déjà affectée à une plage mais pas encore effectuée. Dans ce cas, nous pouvons la réaffecter à une autre plage.

*Données*

- $M$  : une grande valeur,
- $l$  : groupe d'appartenance de l'urgence,
- $NR_{it}$  : nombre des interventions restantes du chirurgien  $i$  de type  $t$ ,
- $DL_{it}$  : date limite de l'urgence du chirurgien  $i$  de type  $t$ ,
- $AR_{it}$  : date d'arrivée de l'urgence du chirurgien  $i$  de type  $t$ ,
- $d_{it}$  : durée de l'intervention de type  $t$  du chirurgien  $i$ ,
- $\sigma_{ik} = 1$ , si le chirurgien  $i$  est disponible le jour  $k$ ,
- $\delta_{tm} = 1$ , si l'intervention de type  $t$  peut être effectuée dans la salle  $m$ ,
- $Pa\_Op_{ikm}$  : plage du chirurgien  $i$  affectée à la salle  $m$  le jour  $k$  avant re-affectation,
- $Pa\_Op_{ikm}$  : la plage du chirurgien  $i$  le jour  $k$  de la salle  $m$ ,
- $Pa\_C_{lkm}$  : la plage du groupe  $l$  le jour  $k$  de la salle  $m$ ,
- $a_{il} = 1$ , si le chirurgien  $i$  appartient au groupe  $l$ ,
- $CAP_{lkm}$  : capacité de la plage disponible pour le groupe  $l$  le jour  $k$  dans la salle  $m$ ,

$$CAP_{lkm} = \sum_{i/a_{il}=1} Pa\_Op_{ikm} + Pa\_C_{lkm}$$

*Variables intermédiaires*

- $a_{ikm}=1$ , si le chirurgien  $i$  avait une plage le jour  $k$  dans la salle  $m$  dans le PDA initial.
- $b_{ikm}=1$ , si le chirurgien  $i$  aura une plage le jour  $k$  dans la salle  $m$  après permutation.

*Variables de décisions*

- $Z_{itkm}$  : nombre d'interventions affecté à la nouvelle plage du chirurgien  $i$ , le jour  $k$ , la salle  $m$ .
- $Y_{itkm}=1$ , si l'urgence du chirurgien  $i$  est affectée à la nouvelle plage  $ikm$
- $Pa\_op2_{ikm}$  : la nouvelle plage du chirurgien  $i$  le jour  $k$  dans la salle  $m$ .

*Modèle.* Nous modélisons le problème par un programme linéaire présenté dans l'encadré 4-6.

Fonction objectif : maximiser les chances que l'urgence soit affectée et maximiser le nombre des interventions affectées.  $Y$  est précédé par un coefficient pour donner la priorité aux urgences.

$$\text{Max } \sum_i \sum_t \sum_k \sum_m M * Y_{itkm} + Z_{itkm} \quad (41)$$

Sous contraintes

-Les contraintes (42) : construction du nouveau PDA

$$\sum_i (Y_{itkm} + Z_{itkm}) d_{it} \leq Pa\_op2_{ikm} \text{ Pour tout } k, m \text{ et } i \text{ de } l \quad (42)$$

-Les contraintes (43) : respect de la date limite de l'urgence

$$\sum_{k \in [AR, DL]} \sum_m \sum_l Y_{itkm} \leq 1 \quad \forall i, t \quad (43)$$

-Les contraintes (44) : respect de la capacité du groupe  $l$

$$\sum_{i / ail=1} Pa\_op2_{ikm} \leq CAP_{lkm} \quad (44)$$

-Les contraintes (45), (46), (47) et (48) : relation entre les variables binaires et réelles

$$b_{ikm} \leq Pa\_op2_{ikm}, \text{ pour tout } i \text{ de } l, \text{ pour tout } k \text{ et } m, \quad (45)$$

$$Mb_{ikm} \geq Pa\_op2_{ikm}, \text{ pour tout } i \text{ de } l, \text{ pour tout } k \text{ et } m, \quad (46)$$

$$a_{ikm} \leq Pa\_op_{ikm}, \text{ pour tout } i \text{ de } l, \text{ pour tout } k \text{ et } m, \quad (47)$$

$$Ma_{ikm} \geq Pa\_op_{ikm}, \text{ pour tout } i \text{ de } l, \text{ pour tout } k \text{ et } m, \quad (48)$$

-Les contraintes (49) : respect du nombre des interventions restantes

$$\sum_k \sum_m Z_{itkm} \leq NR_{it} \quad \forall i, t \quad (49)$$

-Les contraintes (50) : l'urgence doit être affectée à une seule plage

$$\sum_k \sum_m Y_{itkm} \leq 1, \forall i, t \quad (50)$$

-Les contraintes (51) : les variables de décisions sont nulles pour tout  $l' \neq l$

$$\sum_{i/a_{il}=0} \sum_t \sum_k \sum_m Y_{itkm} + Z_{itkm} = 0 \quad (51)$$

-Les contraintes (52) : variables nulles pour tout jour inférieur au jour de la date d'arrivée de l'urgence

$$\sum_i \sum_t \sum_{k/k \leq AR} \sum_m Y_{itkm} + Z_{itkm} = 0 \quad (52)$$

-Les contraintes (53) : respect disponibilité des chirurgiens

$$\sum_m Pa - op2_{ikm} \leq M\sigma_{ik}, \text{ pour tout } i \text{ et } k \quad (53)$$

-Les contraintes (54) : respect la spécialisation des salles

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_k Z_{itkm} &\leq M\delta_{tm} \\ \sum_i \sum_k Y_{itkm} &\leq M\delta_{tm} \end{aligned} \quad (54)$$

-Les contraintes (55) : domaine des variables

$$Z_{itkm} \text{ Entiers } \forall i, t, k, m \quad Y_{itkm} \text{ binaires } \forall i, t, k, m \quad a_{ikm}, b_{ikm} \text{ binaires } \forall i, k, m \quad (55)$$

#### Encadré 4-6. Programme linéaire pour la permutation des chirurgiens du même groupe

##### 2.2.2 Recherche d'une solution en recourant aux autres groupes

Nous faisons appel à cette méthode dans le cas où la recherche d'une solution au sein du même groupe ne donne pas de résultat. Dans ce cas, nous sommes obligé de recourir aux autres groupes de chirurgiens. Nous recourons plus particulièrement aux chirurgiens des autres groupes qui opèrent dans les salles où l'intervention restante ou l'urgence peuvent être traitées.

S'il reste une intervention de type  $t$  du chirurgien  $i$  du groupe  $l$ , nous déterminons l'ensemble  $M$  des salles d'opération dans lesquelles les interventions de type  $t$  peuvent être effectuées. Ensuite, nous déterminons l'ensemble des groupes de chirurgiens  $L$  qui opèrent dans l'une des salles de  $M$ . Nous adoptons la même démarche que la recherche de la solution au sein du même groupe. Il s'agit de chercher dans un premier temps une plage inexploitée pouvant absorber l'intervention tout en respectant la disponibilité du chirurgien et la date limite de l'intervention. Si aucune plage vérifiant ces conditions n'existe, nous réaffectons les plages des chirurgiens.



### 2.3 Étude de la robustesse de l'approche

La robustesse est un critère qui permet de mesurer la capacité d'un ordonnancement prédictif à prendre en compte des aléas. Nous définissons avec plus de détails la robustesse dans l'annexe 1.

Pour étudier la robustesse de l'approche ici décrite, nous nous limiterons à l'ensemble des scénarios les plus probables  $I_A$ . Il s'agit de vérifier si l'algorithme hors ligne proposé permet de satisfaire l'ensemble des scénarios les plus probables. La prise en considération d'un ensemble de scénarios est une manière de prendre en compte l'incertain, caractéristique très flagrante de notre problème.

Une performance locale  $\sigma$  associée à chaque scénario de  $I_A$  est calculée en adoptant l'algorithme hors ligne. Afin d'évaluer l'algorithme hors ligne pour l'ensemble des scénarios, nous définissons la performance globale  $\lambda$  [Rossi, 2003] « qui mesure la qualité d'une solution, à un problème d'ordonnancement, sur un ensemble d'instances ». Nous adoptons le critère qui correspond à la plus mauvaise performance locale mesurée par la fonction objectif  $\sigma$  obtenue en appliquant l'algorithme hors ligne « f » à toutes les instances  $i_A$  les plus probables. Afin d'évaluer la robustesse de notre algorithme hors ligne, nous comparons la performance globale  $\lambda$  à un niveau de performance désiré  $C$ . Pour étudier la robustesse de la solution proposée, nous nous basons sur les définitions données par [Rossi, 2003].

#### 2.3.1 Performance locale d'un ordonnancement

Nous évaluons l'ordonnancement  $O_A = f(i_A)$  de tout scénario  $i_A$  de  $I_A$ , ensemble des scénarios les plus probables, en appliquant la solution proposée, en calculant sa fonction objectif  $\sigma_{i_A}$ .

Deux objectifs sont fixés : (1) la minimisation du nombre des interventions non affectées :  $\sigma_{1_{i_A}}$  ; et (2) la maximisation du taux des plages exploitées :  $\sigma_{2_{i_A}}$ . Ainsi  $\sigma_{i_A} = (\sigma_{1_{i_A}}, \sigma_{2_{i_A}})$

#### 2.3.2 Performance globale de la solution proposée : algorithme hors ligne

Afin d'évaluer la solution proposée sur un ensemble d'instances  $I_A$ , nous définissons la performance globale  $\lambda$ . Nous choisissons la performance globale, le pire cas est défini par :  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2)$  avec  $\lambda_1 = \max_i \sigma_{1_{i_A}}$  et  $\lambda_2 = \min_i \sigma_{2_{i_A}}$

#### 2.3.3 Robustesse de la solution

Soient  $C (c_1, c_2)$  les critères de performance désirés. L'algorithme est robuste si et seulement si  $\lambda_1 \leq c_1$  et  $\lambda_2 \geq c_2$ . La figure 4-3 illustre l'étude de la robustesse du PDA proposée.

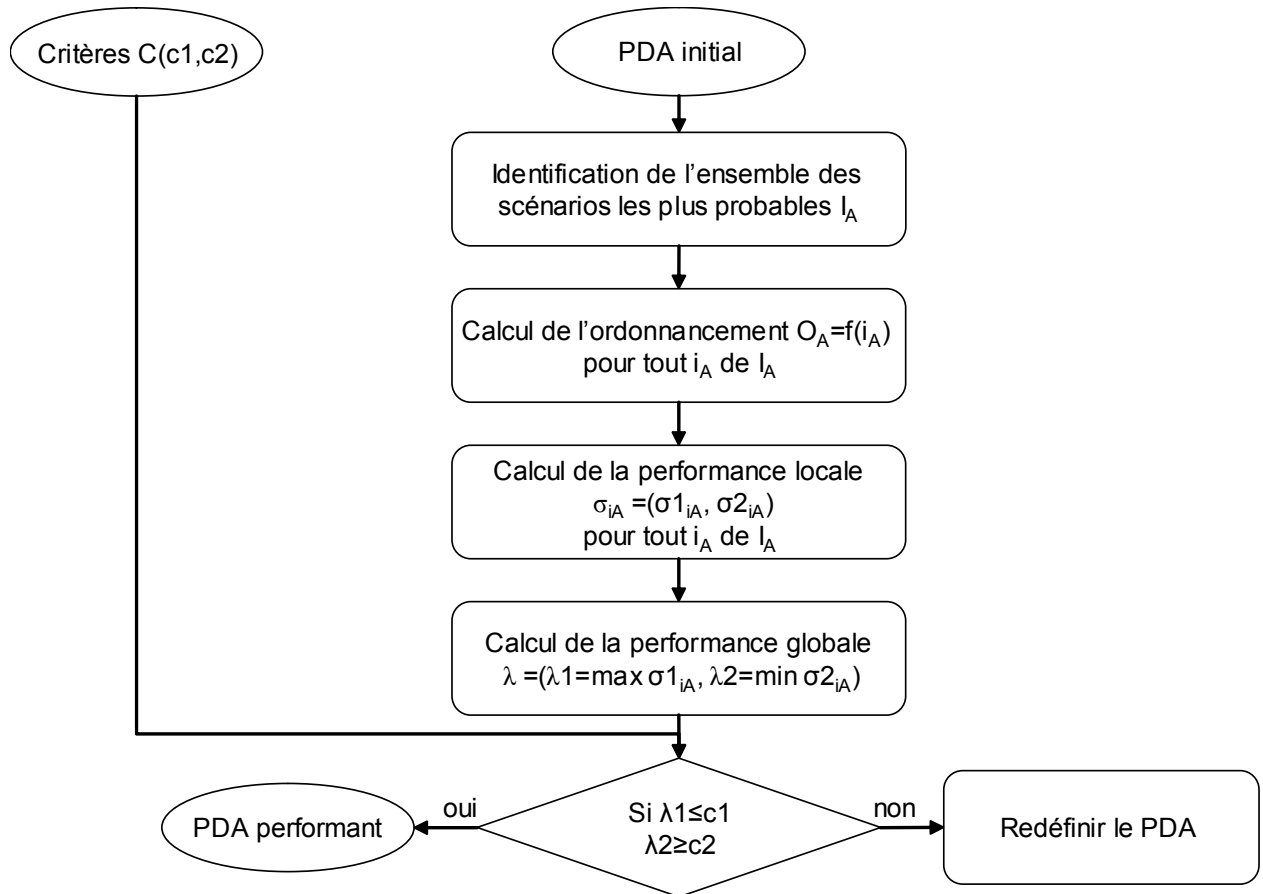


Figure 4-3. Robustesse du PDA

## 2.4 Etude de la flexibilité

La flexibilité, comme nous l'avons défini, s'exprime en ordonnancement à travers les possibles modifications que l'on peut apporter à l'ordonnancement calculé en statique (hors ligne), modifications entraînant une perte de performance acceptable [Ghota, 2002]. Nous définissons avec plus de détails la flexibilité dans l'annexe 1.

Le coût de flexibilité  $CF$  est donné par : 
$$CF = \sum_i \sum_k \sum_m |a_{ikm} - b_{ikm}|$$

$a_{ikm}=1$ , si le chirurgien  $i$  n'avait pas une plage dans le PDA initial le jour  $k$  dans la salle  $m$  et s'il aura une plage dans le jour  $k$  dans la salle  $m$  dans le PDA après modification.

$b_{ikm}=1$ , si le chirurgien  $i$  avait une plage dans le PDA initial le jour  $k$  dans la salle  $m$  et s'il n'aura pas de plage dans le jour  $k$  dans la salle  $m$  dans le PDA après modification.

L'objectif est d'avoir un coût de flexibilité faible, autrement dit de pouvoir insérer et gérer les perturbations avec le moins de modifications possible.

Nous avons considéré comme modification du PDA l'ajout ou l'annulation d'une plage dans le PDA initial. Toutefois, il serait intéressant de considérer également l'annulation ou l'ajout ou le report d'une intervention comme modification.

### 3 Expérimentation

Nous étudions ici le cas du bloc opératoire de la clinique de Belledonne constitué de 5 salles opératoires et dans lequel interviennent 17 chirurgiens. Le responsable du bloc a établi manuellement un PDA où il a affecté des plages horaires aux différents chirurgiens. Nous désignons par PDA initial, le PDA utilisé par la clinique Belledonne. Nous présentons ce PDA dans la figure 4-4.

	<i>lundi</i>	<i>mardi</i>	<i>mercredi</i>	<i>jeudi</i>	<i>vendredi</i>	
<i>salle1</i>	Ch1	Ch 8	Ch10	Ch1	Ch10	
<i>salle2</i>	Ch2	Ch 2	Ch2	Ch2	Ch2	
<i>salle3</i>	Ch3	Ch6	Ch11	Ch9	Ch11	
<i>salle4</i>	Ch7	Ch17	Ch7	Ch5	Ch5	
					Ch16	Ch15
					Ch14	Ch13
<i>salle5</i>	Ch4			Ch12		

**Figure 4-4. PDA initial**

Nous proposons de construire un nouveau PDA en se basant sur l'approche proposée. Ce PDA est désigné par PDA proposé. Il s'agit de comparer la robustesse et la flexibilité des deux PDA : le PDA initial et le nouveau PDA proposé. Ceci se fait en trois phases :

1. la collecte des données : il s'agit de collecter les données nécessaires pour la construction du nouveau PDA,
2. la construction du PDA : il s'agit de construire le nouveau PDA selon l'approche proposée,
3. la comparaison des deux PDA : il s'agit de comparer les performances des deux PDA initial et proposé selon :
  - a. des indicateurs généraux,
  - b. la robustesse,
  - c. et la flexibilité.

#### 3.1 Collecte des données

Afin de construire un nouveau PDA en nous basant sur notre approche, nous avons besoin des données suivantes :

1. la demande hebdomadaire par chirurgien : moyenne et écart type,
2. la matrice A (chirurgiens, cliques),
3. le nombre de types d'interventions par chirurgien,
4. la durée de type d'interventions par chirurgien,

Les données ont été relevées entre le 15/12/03 et le 23/01/04. La demande hebdomadaire par chirurgien et par semaine est donnée dans le tableau 4-1. Pour chaque chirurgien (*Ch1..Ch17*), nous déterminons sa demande hebdomadaire pour les semaines (*S1..S6*), la moyenne des demandes hebdomadaires et l'écart type.

Tableau 4-1. Demande hebdomadaire par chirurgien

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	moyenne	écart-type
Ch 1	9	26,5	10,5	23,5	5	6,5	13,50	8,36
Ch 2	26,5	31	30	30	28,5	31	29,50	1,58
Ch 3	14	6,5	13	13,5	7,5	14	11,42	3,15
Ch 4	6	3,5	8	3,5	4	6,5	5,25	1,70
Ch 5	17	5	11	7,5	15	11	11,08	4,09
Ch 6	8,5	20,5	19	20,5	18	21,5	18,00	4,40
Ch 7	19,5	15,5	12	21,5	12	7,5	14,67	4,77
Ch 8	10,5	3	9,5	9	0	10	7,00	4,01
Ch 9	4,5	5,5	2,5	5	1	0	3,08	2,07
Ch 10	14,5	22	18	15,5	14,5	17	16,92	2,60
Ch 11	16	19	13	15,5	13	18	15,75	2,27
Ch 12	4,5	6	2	0	9	6	4,58	2,92
Ch 13	1,5	0	2,5	0	3	0	1,17	1,25
Ch 14	4	0	0	0	2	0	1,00	1,53
Ch 15	0	13	0	7	0	9	4,83	5,15
Ch 16	0	0	2	0	0	0	0,33	0,75
Ch 17	0	5	0	5	0	5	2,50	2,50

Une clique, nous l’avons vu, est un groupe de chirurgiens qui s’entendent entre eux et partagent la même spécialité. Après avoir discuté avec le responsable du bloc, nous avons réussi à former 21 cliques (Cl1...Cl21). Pour chaque chirurgien (Ch1...Ch17), nous avons déterminé  $A(i,j) = 1$ , si le chirurgien Chi peut appartenir à la clique Clj. La matrice A est présentée dans le tableau 4-2.

Tableau 4-2. Matrice A (cliques, chirurgiens)

A	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl5	Cl6	Cl7	Cl8	Cl9	Cl10	Cl11	Cl12	Cl13	Cl14	Cl15	Cl16	Cl17	Cl18	Cl19	Cl20	Cl21
Ch1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ch2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Ch3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Ch4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ch5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ch6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ch7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ch8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ch9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ch10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ch11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ch12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ch13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Ch14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Ch15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Ch16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Ch17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

Faute de données (due à l’absence d’une base de données dans la clinique), nous avons supposé que chaque groupe de chirurgiens effectue deux types d’interventions. Les tableaux 4-3 et 4-4 modélisent respectivement le nombre et la durée de chaque type d’intervention par chirurgien. Nous considérons 24 chirurgiens, les 17 chirurgiens sont additionnés par 7 chirurgiens fictifs présentant les 7 groupes de chirurgiens. En effet, en appliquant le programme formation des groupes de chirurgiens, nous avons réussi à former sept groupes de chirurgiens (voir paragraphe 3.2).

Tableau 4-3. Nombre d'interventions par type par chirurgien

Ni	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7	ch8	ch9	ch10	ch11	ch12	ch13	ch14	ch15	ch16	ch17	ch18	ch19	ch20	ch21	ch22	ch23	ch24
T1	0	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
T3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
T4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
T5	0	0	0	0	11	0	9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	15	0
T6	0	0	0	0	5	0	10	0	0	0	0	1	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	12	0
T7	0	0	0	0	0	6	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
T8	0	0	0	0	0	6	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
T9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
T10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

Tableau 4-4. Durée des types d'interventions par chirurgiens (heure)

dit	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7	ch8	ch9	ch10	ch11	ch12	ch13	ch14	ch15	ch16	ch17	ch18	ch19	ch20	ch21	ch22	ch23	ch24
T1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
T2	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
T3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
T4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
T5	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0
T6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
T7	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
T8	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
T9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
T10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

### 3.2 Construction du PDA

En appliquant le programme linéaire de formation des groupes de chirurgiens, nous avons réussi à former sept groupes de chirurgiens ( $G1 \dots G7$ ). La répartition des chirurgiens dans les différents groupes est présentée dans le tableau 4-5.

Tableau 4-5. Groupes de chirurgiens formés

Groupe	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Chirurgiens	Ch1	Ch10	Ch11	Ch2, Ch3	Ch4, Ch12	Ch5, Ch7, Ch13, Ch14, Ch15, Ch16, Ch17	Ch6, Ch8, Ch9

En appliquant le programme linéaire de construction de PDA, nous avons obtenu le PDA présenté dans la figure 4-5. Pour chaque jour du lundi à vendredi, nous déterminons pour chacune des salles salle1...salle5, les chirurgiens affectés.

	<i>lundi</i>		<i>mardi</i>	<i>mercredi</i>			<i>jeudi</i>	<i>vendredi</i>				
<i>salle1</i>	G1	Ch1	Ch8	Ch10	Ch11	Ch1	Ch10	G3				
<i>salle2</i>	Ch3		Ch2				Ch2	G4				
<i>salle3</i>	G7		Ch6	Ch2	Ch9	G2	Ch6	Ch11				
<i>salle4</i>	G6	Ch17	Ch7	Ch7	G6		Ch5	C13	C14	C16	C15	G6
<i>salle5</i>	Ch4		G5			Ch12						

■ plage non utilisée      ■ plage commune      □ plage individuelle

Figure 4-5. Nouveau PDA proposé

### 3.3 Comparaison des PDA

Il s'agit de comparer les deux PDA : initial et proposé. Après avoir étudié la performance des deux PDA selon des indicateurs généraux, nous mesurons la robustesse et la flexibilité des PDA.

#### 3.3.1 Indicateurs généraux

Nous proposons les indicateurs suivants :

$$I1 = \text{non\_utilisation\_bloc} = \frac{\sum \text{plages\_non\_utilisées}}{\text{heures\_ouverture\_bloc}}$$

$$I2 = \text{non\_utilisation\_max\_salle} = \frac{\sum \text{plages\_non\_utilisées}}{\text{nombre\_heures}}$$

Dans le tableau 4-6, nous présentons les performances des deux PDA : initial et proposé.

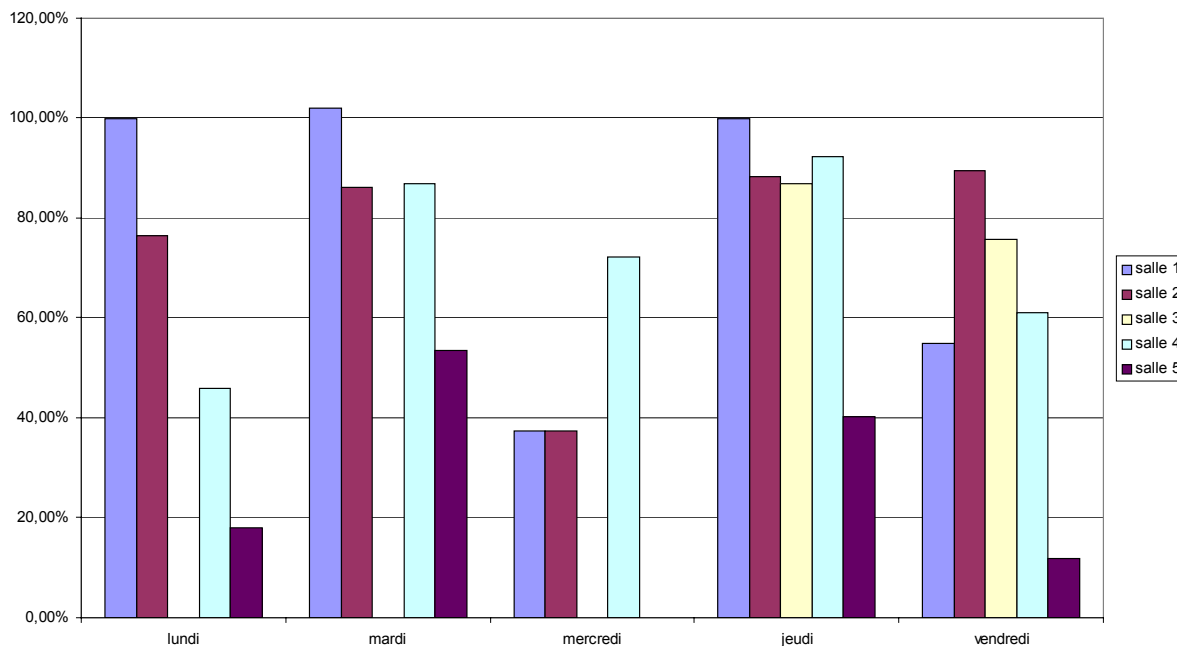
Tableau 4-6. Performance des PDA

	<i>PDA initial</i>	<i>PDA proposé</i>
<b><i>I1</i></b>	12%	8.89%
<b><i>I2</i></b>	67.5%	23.75%

12% des plages ne sont pas utilisées pour le PDA initial contre 9% dans le PDA proposé. Ceci s'explique par l'ajout des plages communes dans le PDA proposé. De ce fait, le PDA initial ne présente aucune flexibilité. Ceci explique les résultats que nous avons obtenus lors d'un stage effectué à la clinique en 2003 ; 80% du programme prévu est non respecté : annulation, ajout des interventions, urgences.

La salle 5 est mal utilisée dans le PDA initial : 67.5%, ainsi les salles sont mal équilibrées. Ceci rejoint les résultats que nous avons obtenus sur le site durant notre séjour comme le

montre la figure 4-5. Lors de la programmation opératoire, la salle 5 est très mal exploitée, alors que d'autres salles sont surexploitées (salle 1 : 102% le mardi).



**Figure 4-5. Taux d'occupation moyen des salles d'opération (du 15/02/03 au 23/01/04)**

Le nouveau PDA propose une meilleure exploitation du bloc opératoire en tenant compte de la demande hebdomadaire des différents chirurgiens. La répartition des plages horaires entre les différentes salles d'opération permet un meilleur équilibrage des salles.

### 3.3.2 Robustesse

Nous avons considéré vingt scénarios. Un scénario représente le nombre de types d'interventions par chirurgien. Suite à l'absence d'une base de données permettant d'analyser l'historique de tous les scénarios possibles, nous n'avons pas réussi à sélectionner les scénarios les plus probables. Les scénarios considérés sont choisis arbitrairement.

- Dans les 10 premiers scénarios (I1...I10), nous avons modifié le nombre des interventions par type et par chirurgien tout en gardant la même demande hebdomadaire par chirurgien
- Dans les 5 scénarios suivants (I11...I15), nous avons modifié le nombre des interventions par type et par chirurgien tout en gardant la même demande hebdomadaire par groupe.
- Dans les 5 derniers scénarios (I16...I20), nous avons modifié le nombre des interventions par type et par chirurgien tout en gardant la demande hebdomadaire totale afin de ne pas dépasser la capacité du PDA.

Dans le tableau 4-7, nous présentons le nombre total des interventions à affecter pour chacun des scénarios considérés.

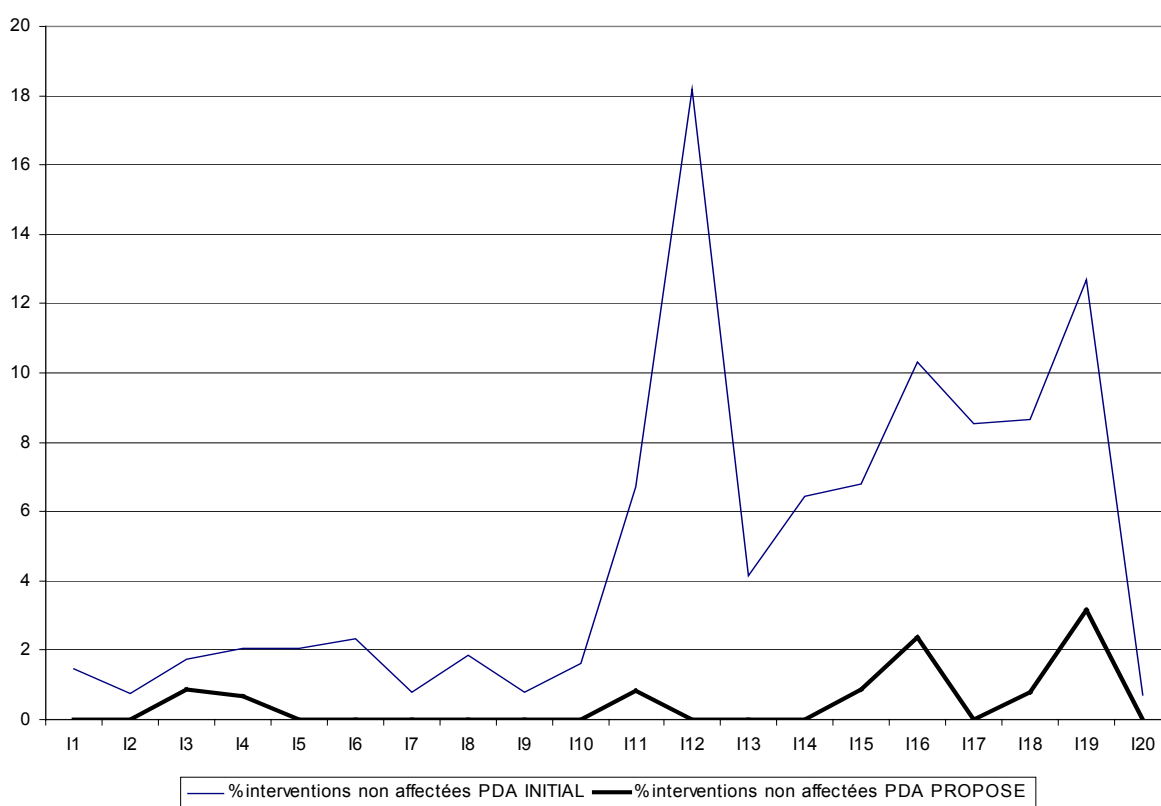
**Tableau 4-7. Nombre d'interventions par scénarios**

Scénario	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19	I20
Nombre des interventions	137	131	118	150	148	132	130	110	124	125	119	111	145	140	118	126	117	127	126	124

Nous affectons les interventions des différents scénarios dans les deux PDA : le PDA proposé et le PDA initial. Il s'agit de comparer les performances des deux PDA selon les critères taux d'interventions reportés et taux d'exploitation des PDA.

*Taux d'interventions reportées.*

La figure 4-6 présente le taux des interventions reportées dans les 20 scénarios dans les deux PDA : (1) proposé et (2) initial.



**Figure 4-6. Comparaison des deux PDA (% des interventions reportées)**

Le PDA proposé permet de minimiser davantage le nombre des interventions non affectées : dans 65% des scénarios, nous avons réussi à affecter toutes les interventions dans le nouveau PDA proposé contre 0% dans le PDA initial. Dans le PDA initial, il nous reste au plus une intervention dans chacun des scénarios considérés.

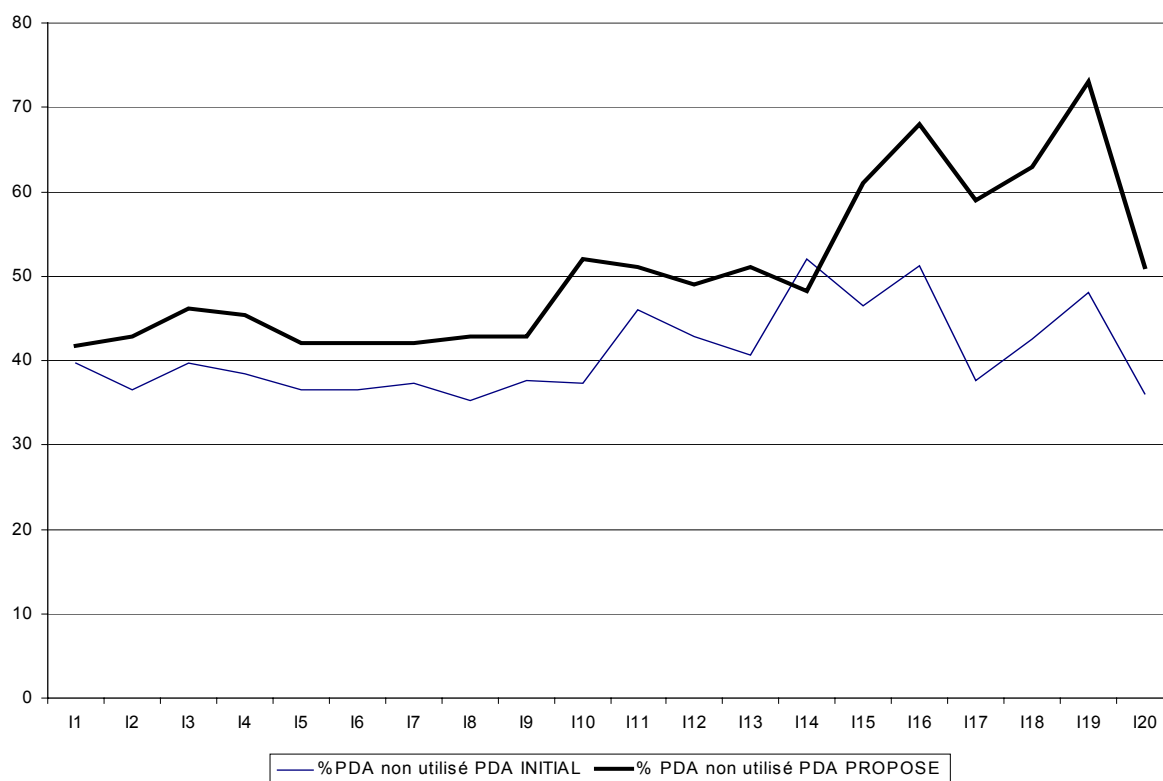
Dans les 10 premiers scénarios, aucune intervention n'est reportée en adoptant le PDA avec plages communes. En adoptant le PDA initial, peu d'interventions sont reportées (2.5%). Si nous gardons la même demande hebdomadaire par groupe, nous avons réussi à minimiser le nombre d'interventions reportées grâce aux plages communes, alors que le nombre d'interventions reportées atteint 18% dans le cas du PDA sans plages communes. Ceci justifie



la flexibilité qu'apportent les plages communes aux groupes de chirurgiens partageant la même spécialité et qui s'entendent entre eux.

*Taux d'exploitation des PDA.*

La figure 4-7 présente le taux des plages inexploitées dans les deux PDA proposé et initial.

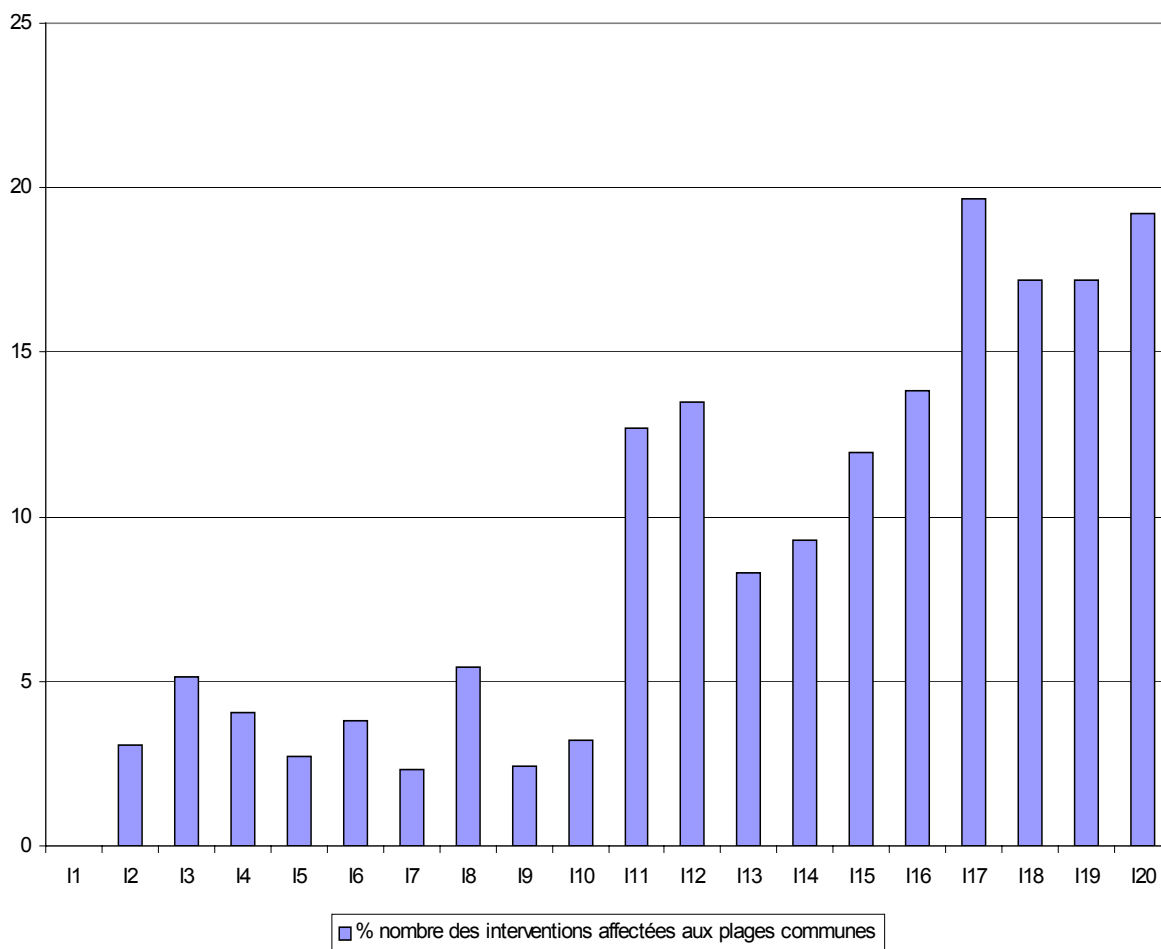


**Figure 4-7. Comparaison des deux PDA (% PDA non utilisé)**

Le pourcentage du PDA non exploité du PDA proposé dépasse souvent 50%. Le PDA initial paraît plus performant en termes de critère « exploitation du PDA ». Il faut mentionner que 28% du PDA est affecté aux plages communes. De ce fait, la non utilisation fréquente des plages communes entraîne une non exploitation du PDA élevé.

La question est de savoir s'il est plus intéressant de minimiser le nombre des interventions non affectées ou de minimiser la non exploitation du PDA. Il faut noter que le coût d'une heure supplémentaire est d'environ 1.75 fois celui d'une heure inexploitée [Dexter, 2001]. Il est donc plus intéressant de minimiser le nombre des interventions non affectées afin de minimiser le recours aux heures supplémentaires.

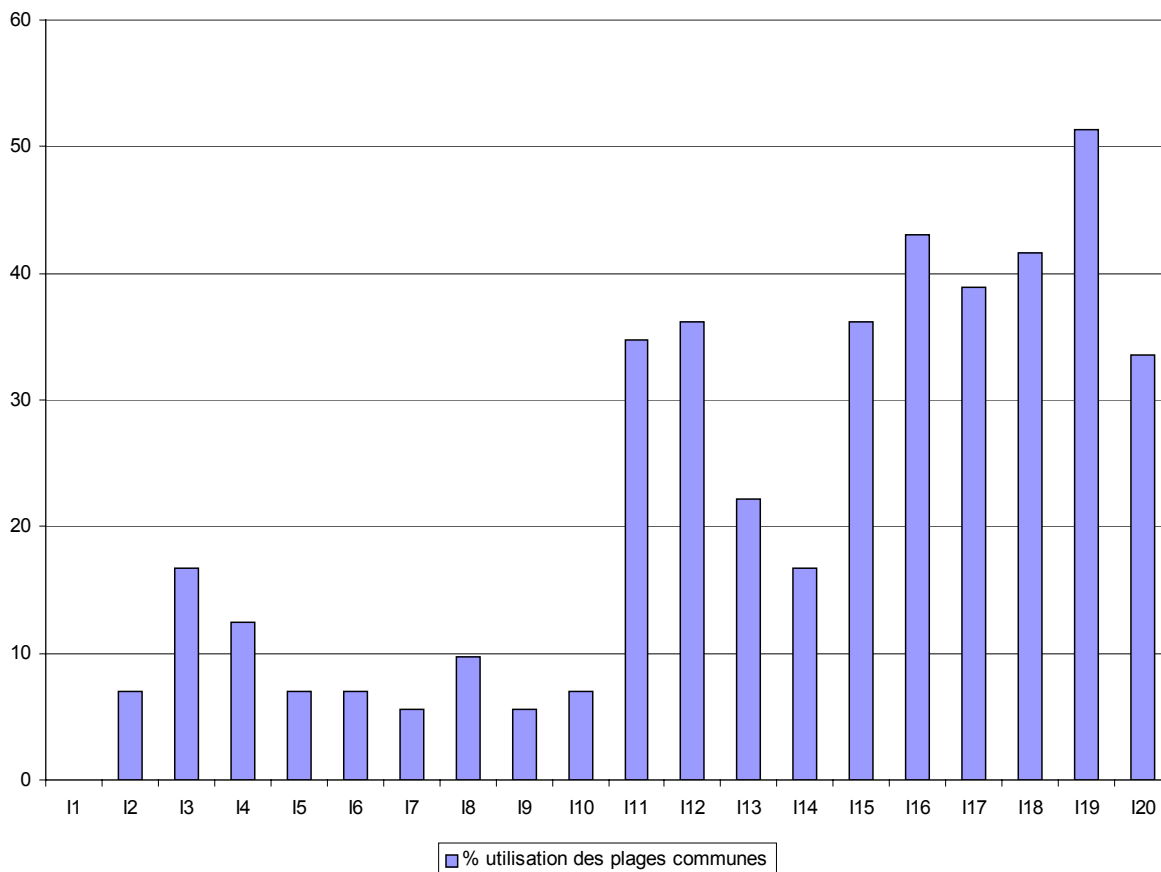
Il nous semble important d'examiner le taux d'exploitation des plages communes afin de justifier leur utilité et le taux important de non exploitation du PDA proposé. Nous avons analysé le pourcentage d'exploitation des plages communes et le pourcentage des interventions affectées aux plages communes. La figure 4-8 présente le pourcentage des interventions affectées aux plages communes.



**Figure 4-8. Pourcentage des interventions affectées aux plages communes**

On peut affecter jusqu'à 20% des interventions aux plages communes. Toutefois, dans le scénario 1 aucune intervention n'est affectée aux plages communes. En moyenne 9% des interventions sont affectées aux plages communes. Ainsi, c'est certes que les plages communes ont permis d'absorber des aléas, mais il nous semble que les plages communes sont surdimensionnées.

La figure 4-9 présente le pourcentage d'exploitation des plages communes dans les 20 scénarios considérés.



**Figure 4-9. Taux d'exploitation des plages communes**

Dans le scénario 19, nous utilisons 51% des plages communes alors que dans le scénario 1, nous n'avons pas recouru aux plages communes. En moyenne, nous utilisons que 20% des plages communes. Ainsi les plages communes sont surdimensionnées. Ceci justifie le taux élevé de la non exploitation du PDA proposé.

#### *Robustesse.*

Afin d'étudier la robustesse des deux PDA, nous déterminons pour chaque scénario  $i_A$  des 20 scénarios proposés, sa performance locale  $\sigma_{i_A} = (\sigma_{1_{i_A}}, \sigma_{2_{i_A}})$  dans les deux PDA avec :

- $\sigma_{1_{i_A}}$  : taux des interventions non affectées
- $\sigma_{2_{i_A}}$  : taux des plages exploitées

Le tableau 4-8 présente pour chaque scénario étudié sa performance locale des deux PDA : initial et proposé.

Tableau 4-8. Performance locale

	PDA initial		PDA proposé	
	% nombre interventions non affectées	% PDA utilisé	% nombre interventions non affectées	% PDA utilisé
I1	1,48	60,32	0	58,33
I2	0,77	63,49	0	57,2
I3	1,72	60,32	0,85	53,79
I4	2,04	61,51	0,67	54,55
I5	2,07	63,49	0	57,95
I6	2,33	63,49	0	57,95
I7	0,78	62,7	0	57,95
I8	1,85	64,68	0	57,2
I9	0,81	62,3	0	57,2
I10	1,63	62,7	0	48
I11	6,72	54	0,84	49
I12	18,18	57,14	0	51
I13	4,14	59,33	0	49
I14	6,43	48,02	0	51,71
I15	6,78	53,57	0,85	39
I16	10,32	48,81	2,38	32
I17	8,55	62,3	0	41
I18	8,66	57,54	0,79	37
I19	12,7	51,98	3,17	27
I20	0,72	64	0	49

Il s'agit de calculer la performance globale  $\lambda$  :  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2)$  avec  $\lambda_1 = \max_i \sigma_{1iA}$  et  $\lambda_2 = \min_i \sigma_{2iA}$

*Ainsi  $\lambda$  (PDA proposé) = (3.17, 27) et  $\lambda$  (PDA initial) = (18.18, 48.02)*

Soient C (c1, c2) les critères de performance désirés. Les deux critères dépendent de l'établissement de soins. L'idéal c1= 0%, c2= 100%.

Nous proposons les critères suivants : c1= 5%, c2= 60%. En effet, il serait logique d'une part, d'utiliser au moins 60% du bloc opératoire ; et d'autre part, de minimiser le plus possible le nombre des interventions reportées.

Tableau 4-9. Comparaison de la robustesse des deux PDA

	$\lambda 1$	$\lambda 2$	c1	c2
<b>PDA initial</b>	18.18	35.32	5	60
<b>PDA proposé</b>	3.17	41.67	5	60

Ainsi, d'après le tableau 4-9, le PDA proposé semble plus robuste selon le critère « taux des interventions reportées » alors que le PDA initial semble plus robuste selon le critère « exploitation du PDA ». En effet dans les cinq derniers scénarios, nous avons modifié le PPH des groupes tout en conservant le PPH total de tous les groupes. De ce fait, des groupes auront des PPH beaucoup moins que prévus, ainsi auront des plages non exploitées. En éliminant les cinq derniers scénarios, nous obtenons  $\lambda 2(\text{PDA proposé})=48$ . Le résultat est amélioré. Toutefois, on n'a pas toujours respecté le critère c2. Ceci est dû aux plages communes : parfois 93% des plages communes ne sont pas exploitées.

Certes que les plages communes nous ont offert une grande flexibilité permettant d'affecter le maximum des interventions pour tout scénario, toutefois il serait intéressant de redimensionner les plages communes afin de maximiser leur utilisation.

### 3.3.3 Flexibilité

Lors du recours à l'approche réactive, nous souhaitons minimiser les modifications apportées au PDA initial. Nous considérons les deux types de perturbations :

1. variation du nombre de types d'interventions par chirurgien : modélisée par les 20 scénarios
2. occurrence des urgences : nous considérons les urgences de degré 0 qui peuvent attendre quelques jours avant d'être opérées.

Il faut noter que dans cette partie, nous étudions que la flexibilité du PDA proposé. En effet, le PDA initial n'offre aucun degré de flexibilité. L'insertion des urgences se fait d'une manière anarchique.

#### *Variation du nombre de types d'interventions par chirurgiens.*

La première étape consiste à affecter les interventions restantes aux plages banalisées. Parmi les vingt scénarios considérés, il reste dans sept scénarios des interventions non affectées. Après avoir déterminé les plages banalisées pour chaque scénario, nous avons réussi à affecter toutes les interventions restantes pour chaque scénario aux plages banalisées. Il s'avère ainsi, inutile de recourir aux algorithmes de réaffectation au sein du même groupe et réaffectation des autres groupes.

#### *Occurrence des urgences.*

Nous reprenons les 20 scénarios. Pour chacun des scénarios, nous considérons 120 sous scénarios dans lesquels une urgence arrive. Les paramètres que nous modifions sont : chirurgien de l'urgence, date arrivée de l'urgence, date limite de l'urgence. Les indicateurs que nous étudions : (1) les taux des interventions reportées et (2) le taux des modifications apportées au PDA initial. Dans l'annexe 2, nous présentons les tests effectués.

Dans les 120 cas étudiés, les plages banalisées ont réussi à insérer l'urgence dans 60% des cas. Ainsi, les plages banalisées peuvent absorber les urgences sans modifier le PDA. Pour les autres cas, nous recourons au programme « permutation des plages des chirurgiens au sein du même groupe ». De ce fait, comme nous l'avons mentionné précédemment, nous déterminons pour le groupe auquel l'urgence appartient : le nombre des interventions de ce groupe restante à faire et la plage restante allouée à tout le groupe pour chacune des salles. Dans un second temps, nous répartissons de nouveau les plages aux chirurgiens de groupe avec objectif : affectation de l'urgence et maximisation des interventions affectées restantes.

Dans le tableau 4-10, nous déterminons pour les différents cas étudiés : taux des interventions restantes non affectées, taux des urgences affectées et le nombre de modifications du PDA prédictif. Nous considérons une modification si un chirurgien avait une plage le jour  $k$  dans la salle  $m$  dans le PDA prédictif et n'aura plus cette plage dans le PDA réalisé, et vice versa.

**Tableau 4-10. Programme « permutation au sein du groupe »**

Groupe	Cas	% interventions restantes affectées	% urgences affectées	nombre de modifications
Groupe 1	cas 1	92,86%	100,00%	0
	cas 2	85,71%	100,00%	0
	cas 3	92,86%	100,00%	0
	cas 4	85,71%	100,00%	0
	cas 5	92,86%	100,00%	0
	cas 6	85,71%	100,00%	0
	cas 7	85,71%	100,00%	0
	cas 8	100,00%	0,00%	0
Groupe 2	cas 9	100,00%	100,00%	1
	cas 10	100,00%	100,00%	0
Groupe 7	cas 11	100,00%	100,00%	0
	cas 12	100,00%	100,00%	2
	cas 13	100,00%	100,00%	0
	cas 14	100,00%	100,00%	4
	cas 15	100,00%	100,00%	4
	cas 16	100,00%	100,00%	4
	cas 17	100,00%	100,00%	4

Ainsi, nous avons réussi à insérer l'urgence dans 95% des cas et à réaffecter les interventions restantes dans 53% des cas. Nous avons testé sur trois groupes différents : G1, G2 et G7. Les groupes G1 et G2 sont formés par un seul chirurgien. Ceci limite la flexibilité de permutation avec d'autres chirurgiens, on ne se permet pas d'opérer dans une journée dont on n'a pas une plage individuelle ou commune.

Le groupe 7, formé par 3 chirurgiens, offre plus de flexibilité. Ceci permet de réaffecter les plages initiales des différents chirurgiens, ainsi nous avons réussi à réaffecter à la fois les urgences et les interventions restantes.

### *Flexibilité*

Le coût de la flexibilité  $F$  de l'approche réactive proposée est le coût du changement du PDA initial. Autrement dit

$$F = \sum_i \sum_k \sum_m a_{ikm} + \sum_{i'} \sum_k \sum_m b_{ikm}$$

$a_{ikm}=1$  , si le chirurgien  $i$  n'avait pas une plage dans le PDA initial le jour  $k$  dans la salle  $m$  et il aura une plage dans le jour  $k$  dans la salle  $m$  dans le PDA après modification.

$b_{ikm}=1$  , si le chirurgien  $i$  avait une plage dans le PDA initial le jour  $k$  dans la salle  $m$  et il n'aura pas de plages dans le jour  $k$  dans la salle  $m$  dans le PDA après modification.

Dans le tableau 4-10, nous avons déterminé le coût de la flexibilité dans 17 cas. Le coût de flexibilité moyenne de notre approche est égal à 1,11.

Ainsi, nous avons réussi à affecter toutes les interventions avec au moyenne une modification du PDA initial. Cette modification est apportée au sein du même groupe où les chirurgiens s'entendent entre eux. De ce fait une telle modification est possible.

## **4 Conclusion**

Nous avons proposé une approche prédictive-réactive robuste permettant de gérer les interventions hors ligne (interventions prévues) et en ligne (interventions urgentes).

Les notions des groupes de chirurgiens et plages communes par groupe nous ont permis d'offrir une grande flexibilité pour l'insertion des interventions dans les deux cas : (1) hors ligne, et (2) en ligne. Dans le cas étudié, les plages communes absorbent les aléas sans recours à l'approche réactive dans 75% des scénarios présentés.

L'approche est robuste de point de vue critère de minimisation des interventions reportées. Dans 53% des cas étudiés nous avons réussi à affecter toutes les interventions prévues et urgentes. Toutefois l'approche est non robuste selon le critère maximisation des plages exploitées. Ceci est dû au surdimensionnement des plages communes.

L'approche est flexible. Le recours aux plages banalisées permet de minimiser les modifications apportées au PDA initial. Dans le cas étudié, nous avons réussi à affecter toutes les interventions restantes des différents scénarios grâce aux plages banalisées. La permutation des plages des chirurgiens introduit certaines modifications. Dans le cas étudié le coût de la flexibilité est faible (1,11).

Ainsi, dans ce chapitre nous nous sommes intéressé à la gestion des flux patients, la principale clientèle, tout en satisfaisant les chirurgiens en respectant leurs jours de disponibilités et leurs ententes particulières avec les autres chirurgiens. Toutefois, nous avons supposé que les fournitures médicales sont toujours disponibles en quantité et qualité suffisantes. Il serait donc nécessaire d'assurer la disponibilité des matériels afin d'assurer le bon déroulement des interventions. Le chapitre 5 présente deux approches permettant

l'approvisionnement des matériels en respectant deux contraintes : (1) non rupture de stock et (2) capacité limitée des entrepôts.



## Chapitre 5. L'approvisionnement du bloc opératoire

Le principe suivi dans les blocs opératoire : « Faut pas manquer » a engendré un gonflement des niveaux de stock. [Rossi-Tuck *et al.*, 2004] formule un autre objectif « comment garantir la continuité du service des blocs tout en maintenant les stocks au niveau le plus bas possible ». Cela signifie que les flux physiques des produits doivent être en synchronisation avec les besoins réels au point utilisation, autrement dit la programmation opératoire.

Nous proposons une démarche hiérarchisée flux patients – flux matériels. Dans le chapitre précédent, nous avons établi une approche robuste et flexible pour le pilotage des flux patients qui permet de prendre en compte les perturbations type urgences et les incertitudes sur le nombre des interventions qui peuvent survenir. Afin de garantir le déroulement du programme opératoire dans les bonnes conditions, le pilotage des flux patients doit être accompagné d'une gestion efficace des ressources matérielles.

La gestion des approvisionnements et des stocks du bloc opératoire est une tâche difficile à cause de la multitude des produits, des fournisseurs, des zones de stockages. La démarche requiert de prendre en considération le réseau logistique interne matérialisé par l'ensemble des flux existants entre le bloc et les autres unités fonctionnelles (magasin central) et le réseau de logistique externe concrétisé par les relations avec les fournisseurs [Rossi-Tuck *et al.*, 2004].

Dans ce chapitre, nous considérons la logistique interne. Après avoir défini notre champ d'étude, nous présenterons deux approches pour l'approvisionnement du plateau médico-technique : (1) l'approche cyclique et (2) l'approche chaîne d'approvisionnement. Nous proposons une modélisation permettant de prendre en compte deux contraintes : (1) la non rupture de stock et (2) le respect de la capacité des magasins blocs et central.

### 1 Le champ d'étude

#### 1.1 Le terrain observé

Nous avons effectué un séjour dans le magasin central de l'hôpital Charles Nicoles de Tunis afin d'en comprendre le fonctionnement et plus particulièrement le fonctionnement de son approvisionnement. La fonction d'approvisionnement est une fonction centralisée sur le magasin central. Le responsable du bloc opératoire envoie au début de chaque semaine une commande au magasin central pour la semaine suivante. L'établissement de la commande ne se base sur aucune méthode et se fait d'une manière anarchique. La quantité demandée dépasse souvent le besoin réel du bloc. Le responsable du magasin central veille à répondre aux besoins des blocs opératoires et des autres services. Il vérifie la quantité existante et s'approvisionne de la quantité manquante auprès du fournisseur. Le personnel du magasin central prépare la commande à la fin de la semaine sur un chariot. Le responsable du bloc

et/ou un autre personnel du bloc transporte le matériel du magasin central au magasin bloc, vérifie et arrange les matériels dans le magasin bloc et dans les salles d'opération.

Faute de manque de données informatisées dans l'hôpital Charles Nicoles, nous avons pu saisir les données d'un seul bloc opératoire : la chirurgie A. En effet, la collecte de données et la mesure des volumes des produits demandent un temps considérable. Afin d'étendre l'exemple sur deux ou plusieurs blocs opératoires, nous avons considéré que la chirurgie B, un autre bloc dans l'hôpital, disposait des mêmes paramètres (consommables, coût de possession, coût de manutention et demande par semaine).

## 1.2 Le cas étudié

Afin de généraliser notre étude, nous avons considéré le cas d'un établissement de soins comportant plusieurs blocs opératoires. Il s'agit dès lors d'étudier la chaîne d'approvisionnement des différents blocs opératoires d'un même établissement de soins sachant que chaque type d'intervention nécessite la présence de produits consommables. Ces derniers sont approvisionnés auprès des fournisseurs externes supposés à capacité illimitée.

La chaîne d'approvisionnement des consommables des blocs opératoires est présentée dans la figure 5-1.

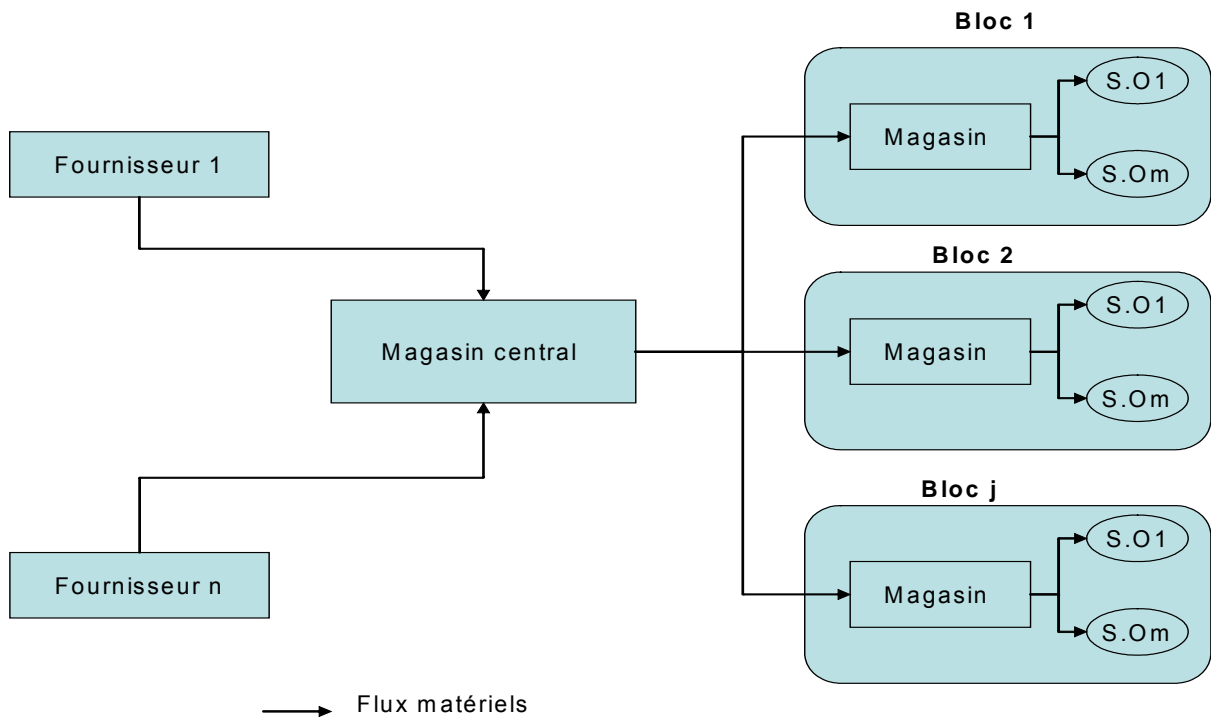


Figure 5-1. Chaîne d'approvisionnement des blocs opératoires

Les consommables sont stockés dans le magasin central, dans les magasins des blocs et dans les salles d'opération. Ce problème peut être modélisé comme un système de stockage à trois échelons. Toutefois, les salles d'opération sont les lieux de décision des chirurgiens qui estiment les niveaux de stock et les stocks de sécurité des produits des salles d'opération afin de répondre au caractère très aléatoire des besoins de leurs interventions chirurgicales. De ce fait, l'approvisionnement des salles d'opération se fait de manière régulière selon une stratégie de remplacement pour tout produit utilisé afin de maintenir les niveaux de stocks des salles

d'opération. Notre étude sera donc limitée aux magasins des blocs et au magasin central. Ainsi, notre système sera modélisé à double échelon (magasin central / magasins blocs). Il s'agira d'approvisionner différents types de produits, chaque responsable de bloc approvisionnant son propre magasin du bloc.

Notre souhaitons d'une part dimensionner la capacité des stocks, autrement dit l'espace alloué à chaque produit dans chaque entrepôt, et d'autre part, planifier l'activité d'approvisionnement en termes de fréquence d'approvisionnement et quantité approvisionnée. Les décisions stratégiques d'allocation et de dimensionnement des stocks ont un impact notable sur les activités opérationnelles de réapprovisionnement, en particulier sur l'optimisation (réduction) de la fréquence des visites tout en garantissant un niveau de service satisfaisant. De ce fait, nous visons à utiliser le maximum possible d'espace pour chaque produit afin de minimiser les fréquences d'approvisionnement des blocs opératoires d'une part et d'autre part, à approvisionner à la fois différents types de produits tout en minimisant le coût de stockage afin de ne pas stocker les produits dont la demande n'est pas si fréquente, pendant des longues durées.

De ce fait, nous avons deux objectifs : (1) minimiser le coût de manutention, autrement dit les activités logistiques trop souvent effectuées par le personnel soignant, et (2) minimiser le coût de stockage.

## 2 Approches proposées

Deux objectifs sont mis en avant : (1) un objectif qualitatif : libérer, le plus possible, le personnel soignant des activités logistiques ; et (2) un objectif économique : minimiser le coût de stockage.

En effet, le personnel soignant consacre un temps considérable aux activités logistiques : analyse de besoins, passation de la commande, transport des matériels, rangement des matériels, etc. Il est donc intéressant de proposer une approche permettant de minimiser le temps consacré aux activités logistiques afin que le personnel médical se concentre exclusivement aux activités médicales. On note également l'absence de gestion de stock. Les stocks sont considérés comme consommés même si leurs périodes de stockage peuvent être très importantes. Toutefois ceci engendre un coût de stockage élevé. De ce fait, il devient intéressant de minimiser ce coût de stockage.

A notre connaissance, peu nombreux sont les travaux qui se sont intéressés à l'approvisionnement d'un bloc opératoire. On note les travaux de [Rossi-Turck, 2004] basés sur la méthode MRP utilisée dans l'industrie et qui peut être appliquée à l'approvisionnement des salles d'opération en supposant que les entrepôts en amont (le magasin du bloc et le magasin central) sont à capacité illimitée. Toutefois ceci est loin d'être réel, car une des caractéristiques des systèmes de soins est la capacité très limitée des magasins. Ainsi, cette méthode ne peut pas être appliquée pour les fournitures dont les délais de livraison sont assez importants. La méthode exige une standardisation des interventions. Elle repose sur des kits standard et des kits spécifiques mais si on considère que chaque chirurgien a ses propres pratiques, cas des chirurgiens de la clinique Belledonne, la plupart des kits seront spécifiques.

La première particularité de nos modèles réside dans l'agrégation des deux niveaux, stratégique et opérationnel. En effet, les approches proposées permettent de déterminer à la fois les activités d'approvisionnements opérationnelles et l'espace alloué pour chaque produit dans les magasins central et blocs. La prise en compte des contraintes, le respect de capacité

des magasins ainsi que la non rupture de stock, constituent la deuxième particularité de nos modèles.

Nous avons modélisé le problème de l'approvisionnement du bloc opératoire comme le problème d'un système à deux échelons. Des économies peuvent être réalisées par la coordination de l'approvisionnement de certains produits [Boctor *et al.*, 2004]. Le Joint Ship Replenishment (JRP) consiste à déterminer les produits à approvisionner conjointement pendant un nombre déterminé de périodes. Dans ce cas, deux types de coûts sont générés [Boctor *et al.*, 2004] : (1) le coût commun associé à l'approvisionnement, et (2) le coût individuel associé à chaque produit approvisionné.

Une revue de littérature permet de distinguer deux approches pour la résolution des problèmes de JRP dans l'industrie : (1) l'approche cyclique, et (2) l'approche chaîne d'approvisionnement. La première représente un cas particulier de la gestion calendaire. Chaque produit est approvisionné à un intervalle multiple d'un intervalle de base. Par contre, les décisions de l'approche chaîne d'approvisionnement s'expriment directement à travers un horaire d'activités pour la période de planification. Il s'agit donc de bien identifier ces activités puis de fixer un horizon de planification adéquat [Lapierre et Ruiz, 2003]. Nous présentons quelques travaux effectués portant sur les deux approches dans l'annexe 3.

Dans ce qui suit, nous présentons les deux approches : cyclique et chaîne d'approvisionnement du plateau médico-technique.

## 2.1 Approche cyclique

En pratique, il semble plus facile d'implanter un plan d'approvisionnement basé sur la politique cyclique : un produit sera approvisionné périodiquement, à un intervalle multiple d'un certain intervalle de base.

L'horizon de travail considéré est celui du maintien du plan directeur d'allocation des plages. Ce dernier permet de déterminer la demande moyenne de chaque produit : une donnée clé permettant de définir l'intervalle d'approvisionnement de chaque produit. En effet, lors de la construction du PDA nous pouvons déterminer le nombre moyen de types d'interventions par plages. On peut déterminer pour chaque type d'intervention les consommables et les dispositifs médicaux nécessaires. De ce fait, on peut déterminer la demande moyenne par semaine de chaque consommable. Ceci est présentée dans la figure 5-2.

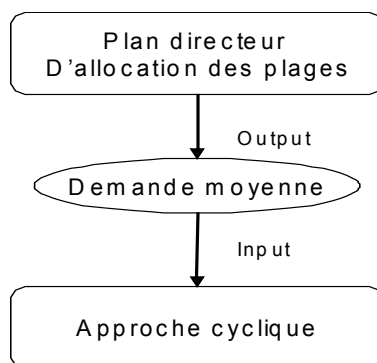


Figure 5-2. La demande moyenne

### 2.1.1 Modélisation

Le modèle proposé s'inspire de celui de [Viswanathan, 1996]. Dans ce modèle, nous optimisons le coût total moyen par unité de temps. Ce dernier est la somme du coût de manutention et du coût de stockage.

Nous considérons que l'horizon de planification est notre unité de temps dans l'approche cyclique : soit seize semaines. Nous fixons l'intervalle d'approvisionnement à une semaine. En effet, nous supposons qu'au minimum un produit est approvisionné chaque semaine, ainsi  $T=1/16=0.0625$ . Il s'agit de déterminer l'intervalle périodique d'approvisionnement de chaque produit qui est un multiple de l'intervalle de base.

Dans ce qui suit, nous présentons les indices, les données, les variables de décision et le modèle mathématique : objectifs et contraintes.

*Les indices.*

- $i : 1...n$ , indice du produit,
- $j : 0...m$ , indice de magasins, ( $j=0$ , pour le magasin central)

*Les données.*

- $d_{ij}$  : taux de demande du produit  $i$  par le magasin du bloc  $j$
- $L_i$  : délai de livraison du produit  $i$  auprès du fournisseur
- $T$  : intervalle de réapprovisionnement de base,

*Capacités*

- $V_j$  : capacité en termes de volume du magasin  $j$ ,
- $v_i$  : volume du produit  $i$ ,

*Coûts*

- $K_j$  : coût fixe de manutention au bloc  $j$ ,
- $K_{ij}$  : coût variable de manutention par produit  $i$  au magasin  $j$ ,
- $H_i$  : coût de possession d'un produit  $i$  par unité de temps,

*Les variables de décision.*

- $R_{ij}$  : variable continue présentant la quantité à louer au produit  $i$  dans le magasin  $j$ ,
- $m_{ij}$  : variable entière présentant l'intervalle d'approvisionnement du produit  $i$  au bloc  $j$ ,

*Modélisation.*

Dans l'encadré 5-1, nous présentons le modèle cyclique pour l'approvisionnement de m blocs opératoires.

*Objectif*

L'objectif est de minimiser à la fois le coût de manutention, composé du coût de manutention fixe (premier terme) et du coût de manutention variable dépendant des produits faisant partie de la livraison (deuxième terme), et le coût de possession dans les magasins du bloc (troisième terme) et dans le magasin central (dernier terme)

$$\sum_{j=1}^m \frac{K_j}{T} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{K_{ij}}{Tm_{ij}} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n H_i d_{ij} m_{ij} T + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n H_i d_{ij} \frac{L_i}{2} \quad (56)$$

*Sous contraintes*

L'équation (57) permet de respecter la capacité en volume des magasins blocs

$$\sum_{i=1}^n d_{ij} v_i m_{ij} T \leq V_j, \forall j \geq 1, \quad (57)$$

L'équation (58) permet de respecter la capacité en volume du magasin central

$$\sum_j^m \sum_i^n d_{ij} v_i (m_{ij} T + L_i) \leq V_0 \quad (58)$$

L'équation (59) permet de dimensionner la quantité maximum allouée à chaque produit dans chaque magasin bloc

$$R_{ij} \geq d_{ij} m_{ij} T, \forall i, j \geq 1, \quad (59)$$

L'équation (60) permet de dimensionner la quantité maximum allouée à chaque produit dans le magasin central

$$R_{i0} - \sum_{j=1}^m d_{ij} (m_{ij} T + L_i) \geq 0, \forall i \quad (60)$$

**Encadré 5-1. Modèle cyclique : cas de m blocs opératoires**

Ainsi, ce modèle permet d'une part de planifier l'activité d'approvisionnement en déterminant l'intervalle d'approvisionnement des produits de chaque magasin de bloc  $m_{ij} T$  et la quantité à approvisionner  $d_{ij} m_{ij} T$  ; et d'autre part de dimensionner la quantité maximum à allouer pour chaque produit dans chaque magasin  $R_{ij}$ .

Dans un premier temps, nous nous intéressons à un établissement de soins qui approvisionne un seul bloc opératoire. C'est le cas de la majorité des nouveaux hôpitaux qui optent pour le regroupement des plateaux techniques. L'encadré 5-2 présente le modèle cyclique dans le cas d'un seul bloc opératoire.

$$\text{Min } K/T + \sum_i K_i / (m_i T) + H_i d_i m_i T + \sum_i H_i d_i L_i / 2$$

Sous contraintes :

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i T \leq V_1,$$

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i (T + L_i) \leq V_0,$$

$$R_{i1} \geq d_i m_i T, \forall i,$$

$$R_{i0} \geq d_i (m_i T + L_i), \forall i,$$

### Encadré 5-2. Modèle cyclique : cas d'un seul bloc

Le modèle obtenu est non linéaire. Dans ce qui suit nous présentons différentes méthodes pour sa résolution.

#### 2.1.2 Méthodes de résolutions : cas d'un seul bloc

Nous proposons deux manières différentes pour la résolution de ce problème : (1) une heuristique gloutonne et (2) une linéarisation de la fonction objectif.

##### 2.1.2.1 Heuristique gloutonne

L'idée est de chercher, dans un premier temps, la solution optimale sans considération des contraintes : vecteur ( $m^* = [m_i]$ ). Si cette solution est non réalisable, nous essayons de diminuer l'intervalle d'approvisionnement de certains produits. Le but est de ne pas dépasser les capacités des volumes des différents magasins tout en essayant de ne pas s'éloigner du coût optimal ( $CT^*$ ). Ainsi, nous calculons pour chaque intervalle d'approvisionnement l'impact de la diminution de la fréquence d'approvisionnement sur le coût et le volume. Les produits à choisir sont ceux qui permettent d'atteindre une solution faisable avec un coût assez proche de  $CT^*$ .

Soient :

- $\Delta V1 = \sum_{i=1}^n a_i m_i - V_1$ , représentant le volume dépassant le volume du magasin bloc,
- $\Delta V2 = \sum_{i=1}^n a_i m_i - V'_0$ , représentant le volume dépassant le volume du magasin central,
- $\Delta C^* = CT - CT^*$ , représentant la variation par rapport au coût optimal.

Avec :  $a_i = v_i d_i T$  et  $V'_0 = V_0 - \sum_i v_i d_i L_i$

Si on réduit l'intervalle d'approvisionnement d'un produit  $i_0$  d'une semaine  $T$ , autrement dit  $m_{i_0} \leftarrow m_{i_0} - 1$ , alors on réduit le volume dépassé dans le magasin bloc de  $a_i$ , de même pour

le volume dépassé dans le magasin central, autrement dit  $\Delta V1 \leftarrow \Delta V1 - a_{i_0}$  et  $\Delta V2 \leftarrow \Delta V2 - a_{i_0}$ . Toutefois, le coût total va augmenter de  $\Delta C_{i_0} = -H_{i_0} d_{i_0} T + \frac{k_{i_0}}{T m_{i_0} (m_{i_0} - 1)}$ , autrement dit  $\Delta C^* \leftarrow \Delta C^* + \Delta C_{i_0}$ .  $\Delta C_i$  est une fonction décroissante de  $m_i$ .

La question est de savoir quel produit il faut choisir afin de réduire son intervalle d'approvisionnement de telle sorte qu'on obtienne une solution réalisable dont la fonction objectif  $CT$  soit proche de  $CT^*$ .

L'idée est de s'intéresser au rapport  $\frac{\Delta C}{a}$  suite à la diminution de l'intervalle de fréquence d'un produit d'une unité. Le produit choisi sera le produit dont le rapport est le plus petit, autrement dit qui permet de diminuer l'écart de volume le plus possible, avec le moindre coût par rapport à l'optimum. En diminuant sa fréquence d'approvisionnement, nous vérifions si les contraintes seront respectées, si non, nous choisissons un autre produit dont le rapport  $\frac{\Delta C}{a}$  est le minimum et ainsi de suite. L'algorithme de l'heuristique gloutonne est présenté dans l'encadré 5-3.

**Etape 1 :**

Déterminer la fréquence optimale  $m_i^*$  sans contrainte tels que :

$$m_i^* \text{ Vérifie } m_i^* (m_i^* - 1) \leq \frac{K_i}{H_i d_i T^2} < m_i^* (m_i^* + 1), \forall i,$$

**Etape 2 :**

Soient  $m_i = m_i^*, \forall i$ , calculer  $\Delta V1, \Delta V2$

si  $\Delta V1 \leq 0$  et  $\Delta V2 \leq 0$  solution optimale est faisable, passer étape 4

Sinon, passer à l'étape 3.

**Etape 3 :**

-Soit  $M = \{i \mid m_i > 1\}$

-**Tant que** ( $\Delta V1$  ou  $\Delta V2 > 0$ ) et ( $M \neq \emptyset$ ), faire

\*Pour tout  $i$  de  $M$ , calculer  $\frac{\Delta C_i}{a_i}$

\*Soit  $i_0$  tel que  $\frac{\Delta C_{i_0}}{a_{i_0}} = \min_{i \in M} \left( \frac{\Delta C_i}{a_i} \right)$

\*  $m_{i_0} \leftarrow m_{i_0} - 1$

\*  $\Delta V1 \leftarrow \Delta V1 - a_{i_0}, \Delta V2 \leftarrow \Delta V2 - a_{i_0}$  et  $\Delta C^* \leftarrow \Delta C^* + \Delta C_{i_0}$

\*Si  $m_{i_0} \leq 1, M = M - \{i_0\}$

**Fin tant que**

-Si  $\Delta V1 > 0$  ou  $\Delta V2 > 0$  et  $M = \emptyset$ , « pas de solution réalisable », passer à l'étape 4,



-Sinon « solution réalisable », passer à l'étape 4,

**Etape 4** : Fin

**Encadré 5-3. Heuristique gloutonne dans le cas d'un seul bloc opératoire**

2.1.2.2 Linéarisation

Il s'agit de proposer deux méthodes : (1) part d'une solution réalisable et (2) part d'une solution optimale non réalisable sans considération des contraintes.

1. Initialisation par une solution réalisable

La non linéarité de notre modèle est causée par la fonction objectif. Toutes les contraintes sont linéaires. On s'intéresse donc à la fonction objectif :

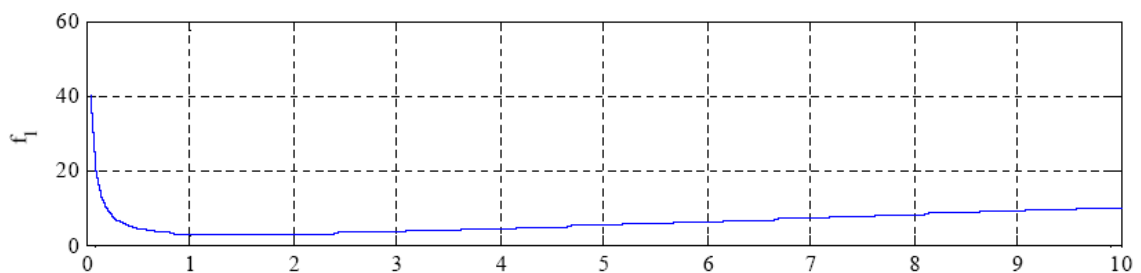
$$K / T + \sum_i K_i / (m_i T) + H_i d_i m_i T + \sum_i H_i d_i L_i / 2$$

CT est la somme des fonctions séparables  $f_i$  présentée par la figure 5-3.

$$f_i(m_i) = K_i / (m_i T) + H_i d_i m_i T, \text{ ainsi } CT = K / T + \sum_i f_i(m_i)$$

Il s'agit de linéariser la fonction  $f_i$ , pour tout  $i$ .

La fonction  $f_i$  est définie de  $]1, \infty]$ . Toutefois, dans la pratique, le PDA est définie pour une période bien déterminée, on ne peut pas choisir un intervalle d'approvisionnement qui dépasse cette période. Ainsi, il existe un entier  $n_{\max}$  tel que,  $\forall i, m_i < n_{\max}$ . La fonction  $f_i$  est présentée dans la figure 5-3.



**Figure 5-3. Fonction  $f_i$**

Ainsi, nous approchons la fonction  $f_i$  par une fonction linéaire par morceaux  $g_i$  tel que  $g_i = g_i^k$  dans l'intervalle  $]k, k + 1]$ , k de 1 à  $n_{\max}$ .

$g_i^k$  présente l'équation affine de la droite passant par les points  $(k, f_i(k))$  et  $(k+1, f_i(k+1))$ . Ainsi  $g_i^k(x) = a_i^k x + b_i^k, \forall x \in [k, k+1[$

Dans la figure 5-4, nous présentons la fonction  $g_i^k$ , affine par morceaux, fonction approchée de  $f_i$

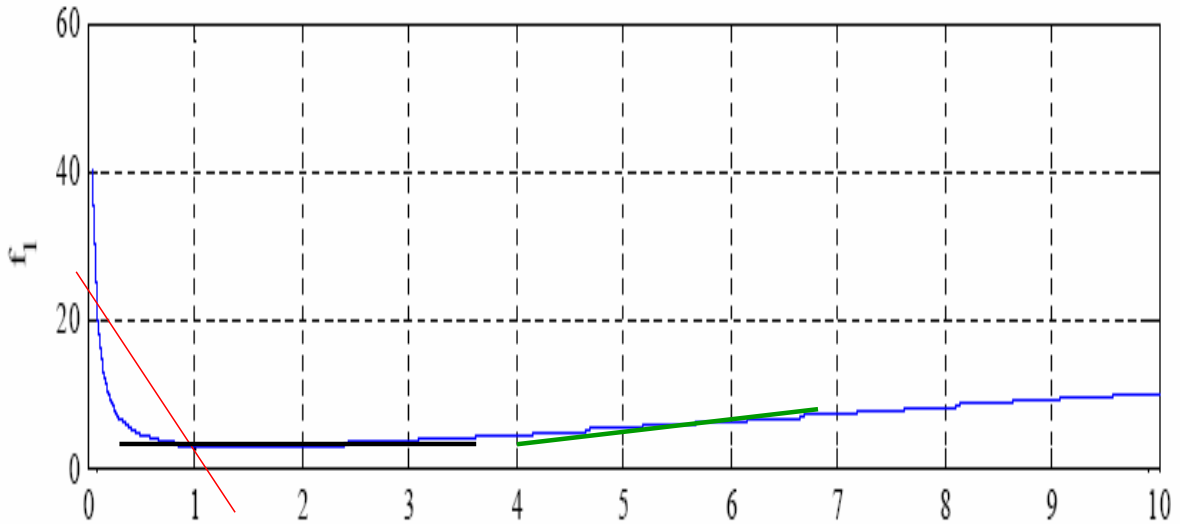


Figure 5-4. Linéarisation de la fonction objectif

Le modèle linéarisé sera formulé dans l'encadré 5-4 :

$$\text{Min } K/T + \sum_i \sum_k^{n_{\max}} a_i^k m_i^k + b_i^k y_i^k + \sum_i H_i d_i L_i / 2$$

Sous contraintes

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i T \leq V_1,$$

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i (m_i T + L_i) \leq V_0,$$

$$R_{i1} \geq d_i m_i T, \forall i,$$

$$R_{i0} \geq d_i (m_i T + L_i), \forall i,$$

$$m_i = \sum_k^{n_{\max}} m_i^k, \forall i$$

$$m_i^k = y_i^k k, \forall i, k$$

$$\sum_k y_i^k = 1, \forall i$$

$$y_i^k \in \{0, 1\}, \forall i, k$$

Encadré 5-4. Programme linéaire obtenu par linéarisation de toute la fonction objectif

Ainsi le nombre de contraintes a augmenté de  $2n(1+n_{\max})$ , le nombre de variables de décisions de  $2n n_{\max}$ .

Remarque

Nous pouvons diminuer le nombre de contraintes. Nous montrons que pour tout  $i$ , il existe un seul  $k$  tel que  $m_i^* = m_i^k$ . La preuve est donnée dans l'encadré 5-5.

Soit  $i$ , on suppose qu'il existe deux entiers distincts  $k$  et  $k'$  tel que  $m_i^* = m_i^k + m_i^{k'}$ , autrement dit  $m_i^* = k + k'$

Ainsi  $g_i(m_i^*) = g_i^k(m_i^k) + g_i^{k'}(m_i^{k'})$  d'où  $g_i(k + k') = g_i^k(k) + g_i^{k'}(k')$

Or par construction de la fonction  $g_i$ , pour tout entier  $k$ ,  $g_i(k) = f_i(k) = k_i / kT + H_i d_i kT$

Ainsi  $f_i(k + k') = f_i(k) + f_i(k')$  or  $f_i$  est strictement convexe de ce fait  $f_i(k + k') < f_i(k) + f_i(k')$

Ainsi  $g_i(k + k') = g_i^k(k) + g_i^{k'}(k')$  est impossible.

Fin de la preuve

**Encadré 5-5. Preuve**

D'où le modèle linéarisé qui se simplifie comme présenté dans l'encadré 5-6 :

$$\text{Min } K / T + \sum_i \sum_k^{n_{\max}} a_i^k m_i^k + b_i^k y_i^k + \sum_i H_i d_i L_i / 2$$

Sous contraintes

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i T \leq V_1,$$

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i (T + L_i / 2) \leq V_0,$$

$$R_{i1} \geq d_i m_i T, \forall i,$$

$$R_{i0} \geq d_i (m_i T + L_i), \forall i,$$

$$m_i = \sum_k^{n_{\max}} m_i^k, \forall i$$

$$m_i^k = k y_i^k$$

$$y_i^k \in \{0,1\}$$

**Encadré 5-6. Programme linéaire obtenu par linéarisation de toute la fonction objectif et en réduisant le nombre de contraintes et de variables de décision**

Ainsi, nous avons réussi à réduire le nombre de contraintes de  $n$ .

2. Initialisation par une solution quelconque (solution optimale sans considération des contraintes)

Nous partons de la solution optimale sans considération des contraintes. Il s'agit de linéariser autour de ce point afin d'aboutir à une solution réalisable tout en restant autour de la solution optimale. Trois types de solution peuvent être observées afin d'obtenir une solution réalisable : (1) rester à ce point ; (2) se déplacer à l'entier suivant et (3) se déplacer à l'entier précédent. Cette procédure est considérée comme une procédure de recherche locale qui permet de réduire le nombre des entiers étudiés à chaque itération [Kim et Pardalos, 1999]. Dans notre cas, nous passons à un autre point (pour certains produits, on garde  $m_i^*$  ; pour d'autres on passe à  $m_i^* - 1$  ; pour d'autres à  $m_i^* + 1$ ). Ce point est considéré comme optimum. Si nous n'arrivons pas toujours à respecter les volumes, nous reconduisons la procédure. Tout d'abord, nous définissons les fonctions que nous utilisons :

- Soit la fonction  $gL_i$ , fonction linéaire par morceaux qui linéarise la fonction  $f_i$ , autour des  $m_i$  optimaux. On définit  $gL_i = \sum_{k=1}^2 g_i^k$

Avec :

- $g_i^1 =$  droite passante par  $(m_i, f_i(m_i)) (m_i+1, f_i(m_i+1))$  pour tout  $m_i$ .
- $g_i^2 =$  droite passante par  $(m_i, f_i(m_i)) (m_i-1, f_i(m_i-1))$  pour tout  $m_i \geq 2$   
 $= f_i(m_i)$  pour tout  $m_i < 2$

On a  $g_i^k(x) = a_i^k x + b_i^k$ ,  $k = 1, 2$  ;

Ainsi, le modèle linéarisé autour de la solution optimale sera formulé dans l'encadré 5-7 :

**Etape 1 :** déterminer la fréquence optimale  $m_i^*$  sans contrainte

$$m_i^* \text{ vérifie } m_i^*(m_i^* - 1) \leq \frac{K_i}{H_i d_i T^2} < m_i^*(m_i^* + 1), \forall i,$$

**Etape 2 :**

**Si**  $\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i^* T \leq V_1$ , et  $\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i^* (T + L_i) \leq V_0$ , la solution optimale est faisable, passer à l'étape 4

**Sinon**, passer à l'étape 3.

**Etape 3 :**

Initialisation  $A = 1$

**Tant que** ( $A = 1$ ), faire

- résoudre le PLNE

$$\text{Min } K/T + \sum_i \sum_k^2 a_i^k m_i^k + b_i^k y_i^k + \sum_i H_i d_i L_i / 2$$

**Sous contraintes :**

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i T \leq V_1,$$

$$\sum_{i=1}^n d_i v_i m_i (T + L_i) \leq V_0,$$

$$R_{i1} \geq d_i m_i T, \forall i,$$

$$R_{i0} \geq d_i (m_i T + L_i), \forall i,$$

$$m_i = \sum_k^2 m_i^k, \forall i$$

$$m_i^2 = (m_i^* - 1) y_i^2, \forall i,$$

$$m_i^2 = (m_i^*) y_i^2, \forall i,$$

$$m_i^1 \leq (m_i^* + 1) y_i^1, \forall i$$

$$m_i^1 \geq m_i^* y_i^1, \forall i$$

$m_i$  Entiers non nuls

$m_i^k$  Entiers

**Si** SNR (solution non réalisable), **faire**

$$- m_i^* = m_i^* - 1$$

**-si** pour tout  $i$ ,  $m_i^* = 0$  **alors** A=0

**Fin tant que**

Si A = 0, il n'y a pas de solution réalisable, passer à l'étape 4.

Sinon, il existe une solution réalisable, passer à l'étape 4.

**Etape 4 :** Fin

**Encadré 5-7. Programme linéaire suite à la linéarisation autour du vecteur optimal sans considération des contraintes.**

Ainsi, nous pouvons réduire le nombre de variables de décisions. En effet, si nous arrivons à une solution réalisable dès la première itération, nous réduisons le nombre de variables de décision par rapport aux modèles présentés dans les encadrés 5-5 et 5-4 de  $2n(n_{\max} - 1)$ .

Avec  $n = 50$ ,  $n_{\max} = 5$ , nous réduisons de 400 le nombre de variables de décision.

2.1.3 Généralisation : cas de  $m$  blocs opératoires

Il s'agit de résoudre à travers l'approche cyclique des problèmes d'approvisionnement des plateaux médico-techniques composés de plusieurs blocs opératoires. La démarche suivie dans l'heuristique gloutonne ainsi que dans les méthodes de linéarisation sera la même dans le cas de plusieurs blocs opératoires.

2.1.3.1 Heuristique gloutonne

Dans le cas où la solution optimale (la matrice  $(m^* = [m^*_{ij}])$  ne répond pas aux contraintes de volume, nous choisissons le couple  $(i_0, j_0) = \min^{-1}(\frac{\Delta C_{ij}}{a_{ij}})$

Avec : 
$$\Delta C_{ij} = -H_i d_{ij} T + \frac{k_{ij}}{T m_{ij} (m_{ij} - 1)}$$
 vérifiant  $m_{ij} > 1$  et  $a_{ij} = v_i d_{ij} T$

On fait diminuer l'intervalle d'approvisionnement d'une période  $m_{i_0 j_0} \leftarrow m_{i_0 j_0} - 1$ , ce qui permet de diminuer la quantité approvisionnée par période, d'où une plus grande chance de respecter le volume du magasin. Si ce n'est pas le cas on cherche un autre produit dont le rapport  $(\frac{\Delta C_{ij}}{a_{ij}})$  est minimum et on fait diminuer sa fréquence d'approvisionnement, et ainsi de suite. L'algorithme est présenté dans l'encadré 5-8.

**Etape 1 :**

Déterminer la fréquence optimale  $m^*_{ij}$  sans contrainte tels que :

$$m^*_{ij} \text{ vérifie } m^*_{ij} (m^*_{ij} - 1) \leq \frac{K_{ij}}{H_i d_{ij} T^2} < m^*_{ij} (m^*_{ij} + 1), \forall i, j$$

**Etape 2 :**

Soient  $m_{ij} = m^*_{ij}, \forall i, j$

Calculer  $\Delta V_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} m_{ij} - V_j$ , et  $\Delta V2 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_i m_i - V'_0$ ,

Avec :  $V_j$  : volume magasin  $j$

Si pour tout  $j \Delta V_j \leq 0$  et  $\Delta V2 \leq 0$  la solution optimale est réalisable, passer à l'étape 4

Sinon, passer à l'étape 3.

**Etape 3 :**

-Soit  $M = \{(i, j) \mid m_{ij} > 1\}$

-**Tant que** ((existe  $j \mid \Delta V_j > 0$ ) ou  $(\Delta V2 > 0)$ ) et  $M \neq \emptyset$ , avec

\*Pour tout  $(i, j)$  de  $M$ , calculer  $(\frac{\Delta C_{ij}}{a_{ij}})$

\*Soit  $(i_0, j_0)$  tel que  $\frac{\Delta C_{i_0 j_0}}{a_{i_0 j_0}} = \min_{(i,j) \in M} \left( \frac{\Delta C_{ij}}{a_{ij}} \right)$

\*  $m_{i_0 j_0} \leftarrow m_{i_0 j_0} - 1$

\*  $\Delta V1 \leftarrow \Delta V1 - a_{i_0 j_0}$ ,  $\Delta V2 \leftarrow \Delta V2 - a_{i_0 j_0}$  et  $\Delta C^* \leftarrow \Delta C^* + \Delta C_{i_0 j_0}$

\*Si  $m_{i_0 j_0} \leq 1$ ,  $M = M - \{(i_0, j_0)\}$

**Fin tant que**

-Si ((existe  $j \setminus \Delta V_j > 0$ ) ou  $\Delta V2 > 0$ ) et  $M = \emptyset$ , il n'y a pas de solution réalisable, passer à l'étape 4,

-Sinon il y a une solution réalisable, passer à l'étape 4,

**Etape 4** : Fin

**Encadré 5-8. Heuristique gloutonne dans le cas de m blocs opératoires**

2.1.3.2 Linéarisation

Nous adoptons la même démarche puisque la fonction objectif est la somme des fonctions séparables  $f_{ij}(m_{ij}) = K_{ij} / (m_{ij} T) + H_i d_{ij} m_{ij} T$ . De ce fait les méthodes de linéarisation seront les mêmes.

a) Linéarisation de toute la fonction objectif.

Soit  $a_{ij}^k = \frac{-K_{ij}}{k(k+1)} + H_i d_{ij} T$  et  $b_{ij}^k = \frac{K_{ij}(2k+1)}{k(k+1)}$ . Le programme est donné dans

l'encadré 5-9.

$$\text{Min } \sum_j K_j / T + \sum_j \sum_i \sum_k^{n_{\max}} a_{ij}^k m_{ij}^k + b_{ij}^k y_{ij}^k + \sum_j \sum_i H_i d_{ij} L_i / 2$$

Sous contraintes :

$$\sum_{i=1}^n d_{ij} v_i m_{ij} T \leq V_j, \forall j$$

$$\sum_j \sum_{i=1}^n d_{ij} v_i (m_{ij} T + L_i / 2) \leq V_0,$$

$$R_{ij} \geq d_{ij} m_{ij} T, \forall i, j$$

$$R_{i0} \geq \sum_j d_{ij} (m_{ij} T + L_i), \forall i,$$

$$m_{ij} = \sum_k^{n_{\max}} m_{ij}^k, \forall i, j$$

$$m_{ij}^k = k y_{ij}^k$$

$$\sum_k y_{ij}^k = 1, \forall i, j$$

**Encadré 5-9. Programme linéaire obtenu par linéarisation de toute la fonction objectif : cas de m blocs opératoires**

b) Linéarisation autour de la solution optimale.

Dans l'encadré 5-10, nous présentons l'algorithme de linéarisation autour de la solution optimale dans le cas de plusieurs blocs opératoires.

**Etape 1 :**

Déterminer la fréquence optimale  $m_{ij}^*$  sans contrainte tels que :

$$m_{ij}^* \text{ vérifie } m_{ij}^*(m_{ij}^* - 1) \leq \frac{K_{ij}}{H_i d_{ij} T^2} < m_{ij}^*(m_{ij}^* + 1), \forall i, j$$

**Etape 2 :**

**Si**  $\forall j \sum_{i=1}^n d_{ij} v_i m_{ij}^* T \leq V_j$ , et  $\sum_j \sum_{i=1}^n d_{ij} v_i m_{ij}^* (T + L_i) \leq V_0$ , la solution optimale est réalisable,

passer à l'étape 4

**Sinon**, passer à l'étape 3.

**Etape 3 :**

Initialisation A=1

**Tant que** (A=1) , faire

- résoudre le PLNE

$$\text{Min } \sum_j K_j / T + \sum_j \sum_i \sum_k^{n_{\max}} a_{ij}^k m_{ij}^k + b_{ij}^k + \sum_j \sum_i H_i d_{ij} L_i / 2$$

**Sous contraintes :**

$$\sum_{i=1}^n d_{ij} v_i m_{ij} T \leq V_j, \forall j$$

$$\sum_j \sum_{i=1}^n d_{ij} v_i m_{ij} (T + L_i / 2) \leq V_0,$$

$$R_{ij} \geq d_{ij} m_{ij} T, \forall i, j$$

$$R_{i0} \geq \sum_j d_{ij} (m_{ij} T + L_i), \forall i,$$

$$m_{ij} = \sum_k^2 m_{ij}^k, \forall i, j$$

$$m_{ij}^2 = (m_{ij}^* - 1) y_{ij}^2, \forall i, j$$

$$m_{ij}^2 = (m_{ij}^*) y_{ij}^2, \forall i, j$$

$$m_{ij}^1 \leq (m_{ij}^* + 1) y_{ij}^1, \forall i, j$$

$m_{ij}$  Entiers non nuls

$m_{ij}^k$  Entiers

**Si** SNR (solution non réalisable), faire



$$- m_{ij}^* = m_{ij}^* - 1$$

-si pour tout  $(i,j)$ ,  $m_{ij}^* = 0$  alors  $A=0$

**Fin tant que**

Si  $A=0$ , il n'y a pas de solution réalisable, passer à l'étape 4

Sinon, il existe une solution réalisable, passer à l'étape 4.

**Etape 4 : Fin**

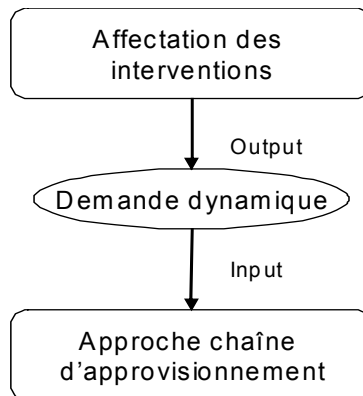
**Encadré 5-10. Programme linéaire suite à la linéarisation autour du vecteur optimal : cas de m blocs opératoires**

**2.2 Approche chaîne d'approvisionnement pour l'approvisionnement des blocs opératoires**

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'application de l'approche chaîne d'approvisionnement requiert des investissements, toutefois elle permet de minimiser le coût de stockage tout en satisfaisant les contraintes de rupture et de capacité. Cette approche consiste à suivre le stock des différents consommables dans les magasins des blocs, de ne commander qu'en cas de besoin auprès du magasin central. Ce dernier suit ses inventaires et commande également en cas de besoin auprès des fournisseurs tout en tenant compte des délais d'approvisionnement. Deux contraintes sont respectées : (1) la contrainte de rupture de stock ; et (2) la contrainte de respect des capacités des volumes des magasins.

L'approche chaîne d'approvisionnement cherche à déterminer quand approvisionner et en quelles quantités, tels que les besoins en matériels soient satisfaits tout en respectant les capacités d'entreposage. Notre objectif est de minimiser d'une part, le coût de manutention afin de libérer le plus possible le personnel soignant des tâches logistiques et d'autre part, le coût de stockage.

L'horizon de travail considéré est celui du maintien du plan directeur d'allocation des plages. Chaque semaine, on affecte les interventions, ainsi on peut déduire la demande de chaque produit pour chaque semaine. De ce fait, on peut déterminer la demande dynamique tout au long de la validité de notre PDA proposé. Ceci est présenté dans la figure 5-5.



**Figure 5-5. La demande dynamique**

### 2.2.1 Modélisation

#### Indices.

- $i$  :  $1 \dots n$  produits
- $j$  :  $0 \dots m$  ( $0$  : magasin central,  $j > 1$  : blocs)
- $t$  : Périodes  $1 \dots T$  ( $t$  : jour)

#### Données.

- $d_{ijt}$  : Demande du produit  $i$  par le magasin du bloc  $j$  à la période  $t$ ,  $j \geq 1$
- $L_i$  : Délai d'approvisionnement du produit  $i$ .
- $I_{ij0}$  : L'inventaire du produit  $i$  dans le magasin  $j$  au début de la période de planification ( $t=0$ ),
- $A$  : Une grande constante,

#### Capacité

- $v_i$  : Volume du produit  $i$
- $V_j$  : Capacité d'entreposage (en volume) du site  $j$ ,  $j \geq 0$

#### Coût

- $k_{ij}$  : Temps de manutention du produit  $i$  au magasin  $j$ ,  $j \geq 1$
- $K_j$  : Temps de manutention fixe par magasin  $j$ ,  $j \geq 1$
- $C$  : Coût horaire de l'infirmière en euros,
- $h_i$  : Coût de possession du produit  $i$  pendant une période en euros.

#### Variables de décisions.

- $x_{ijt}$  : Variable continue présentant la quantité approvisionnée du produit  $i$  au magasin  $j$  à  $t$ ,  $j \geq 0$
- $I_{ijt}$  : Variable continue présentant le niveau du stock du produit  $i$  au magasin  $j$  à la fin de la période  $t$ ,  $j \geq 0$
- $y_{jt} = 1$ , si le magasin  $j$  est visité à  $t$  ; 0 sinon,
- $z_{ijt} = 1$ , si le produit  $i$  est approvisionné à  $j$  la période  $t$  ; 0 sinon,

*Modèle.* Dans l'encadré 5-10, nous modélisons le programme linéaire pour l'approvisionnement du plateau médico-technique selon l'approche chaîne d'approvisionnement.

- La fonction objectif permet de minimiser le coût de stockage dans les magasins des blocs ainsi que dans le magasin central (premier terme) et les coûts de manutention fixe (deuxième terme) et variable (troisième terme)

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_t h_i I_{ijt} + \sum_j \sum_t C^* y_{jt} K_j + \sum_i \sum_j \sum_t C^* k_{ij} z_{ijt} \quad (61)$$

*Sous contraintes*

- Les équations (62), (63), (64) et (65) permettent de respecter les contraintes de rupture de stock

$$I_{ij(t-1)} + x_{ijt} - d_{ijt} = I_{ijt}, \forall i, j \geq 1, t > 0 \quad (62)$$

$$I_{i0(t-1)} - \sum_j x_{ijt} + x_{i0(t-L_i)} = I_{i0t}, \forall i, t \geq L_i \quad (63)$$

$$I_{i00} - \sum_{l=1}^t \sum_j x_{ijl} = I_{i0t}, \forall i, t \leq L_i \quad (64)$$

$$I_{ijt} \geq 0, \forall i, t, j \quad (65)$$

- Les équations (66), (67), (68) et (69) permettent d'exprimer les contraintes liées à la capacité d'entreposage.

$$\sum_i v_i (I_{ij(t-1)} + x_{ijt}) \leq V_j, \forall j \geq 1, t > 1 \quad (66)$$

$$\sum_i v_i (I_{ij0} + x_{ij1}) \leq V_j, \forall j \geq 1, \quad (67)$$

$$\sum_i v_i (I_{i0(t-1)} + x_{i0(t-L_i)}) \leq V_0, t \geq 1 \quad (68)$$

$$\sum_i v_i (I_{i0} + x_{i01}) \leq V_0, \quad (69)$$

- Les équations (70) et (71) permettent de déterminer les relations entre les variables discrètes et continues.

$$\sum_i z_{ijt} \leq A y_{jt}, \forall j \geq 1 \text{ et } t, \quad (70)$$

$$x_{ijt} \leq A z_{ijt}, \forall i, j \geq 1 \text{ et } t, \quad (71)$$

- Les équations (72) et (73) définissent les domaines des variables

$$x_{ijt} \text{ entiers}, \forall i, j \geq 1 \text{ et } t, \quad (72)$$

$$z_{ijt} \text{ binaires}, \forall i, j \geq 1 \text{ et } t, \quad (73)$$

**Encadré 5-11. Programme linéaire : Approche chaîne d'approvisionnement**

2.2.2 Idée sur la complexité du modèle proposé

Le nombre des contraintes dépend du nombre de consommables  $|P|$ , du nombre des blocs  $|B|$  et du nombre de périodes  $|T|$ . Nous présentons dans le tableau 5-1 le nombre des contraintes pour chaque contrainte présentée dans l'encadré 5-10

**Tableau 5-1.** Idée sur la complexité du modèle mathématique

<i>Contraintes</i>	<i>Nombre de contraintes</i>
(62)	$ P  B  T $
(63)	$ P ( T  - \sum Li)$
(64)	$ P (\sum Li)$
(65)	$ P  B  T $
(66)	$ B  T $
(67)	$ B $
(68)	$ T $
(69)	1
(70)	$ B  T $
(71)	$ P  B  T $
(72)	$ P  B  T $
(73)	$ P  B  T $

Le nombre total de contraintes est :  $5|P||B||T| + |P||T| + 2|B||T| + (|B| + |T| + 1)$

Le nombre de variables de décision :  $5|P||B||T| + |T| (|B| + |P|)$

On distingue les variables entières et les variables réelles :

- Nombre de variables continues :  $|P||B||T|$
- Nombre de variables entières :  $|P||B||T|$
- Nombre de variables binaires :  $|P||B||T|$

Dans l'hôpital Charles Nicoles à Tunis, nous distinguons 7 blocs opératoires. Le nombre des produits approvisionné est de l'ordre de 200 produits. En appliquant notre approche pendant toute la période de la validation du PDA, soit 4 mois, autrement dit 16 semaines, nous aurons :

- Nombre de variables de contraintes : 115 312.
- Nombre de variables de décisions :

- Continues : 22 400
- Entières : 22 400
- Binaires : 22 400

### 3 Expérimentation

Nous avons étudié le comportement de chacune des approches, cyclique et chaîne d'approvisionnement dans le cas d'un plateau médico-technique comportant deux blocs opératoires. Les données utilisées sont celles de l'hôpital Charles Nicoles de Tunis.

Pour l'approche cyclique, il s'agit de comparer les trois méthodes de résolutions proposées : heuristique gloutonne, linéarisation de toute la fonction objectif et linéarisation autour de la solution optimale sans considération des contraintes. Pour chacune des approches, cyclique et chaîne d'approvisionnement, nous avons étudié le comportement des différents coûts (stockage, manutention, total) en faisant varier les paramètres :

- Volumes des magasins blocs : il faut noter que nous trouvons différents types d'établissements, certains disposent d'un magasin bloc, d'autres non. La variation des volumes magasins blocs montrent l'utilité ou non de ces magasins et permet de dimensionner leurs capacités optimales.
- Volume du magasin central : il est intéressant d'étudier l'influence du volume magasin central sur les coûts. Ceci permet pour des établissements en cours de construction de bien dimensionner le volume magasin central destiné aux produits du plateau médico-technique ou bien la partie du magasin central destinée au plateau médico-technique.
- Délais d'approvisionnement qui influent sur les différents coûts. Ceci permet d'aider les décideurs à bien sélectionner les fournisseurs selon le critère délai d'approvisionnement.

#### 3.1 Approche cyclique

##### 3.1.1 Comparaison des trois méthodes de résolution

L'approche cyclique a été modélisée par un programme non linéaire. De ce fait nous avons proposé trois méthodes de résolution : (1) heuristique gloutonne, (2) linéarisation de la fonction objectif dans tout l'intervalle de définition et (3) linéarisation de la fonction objectif autour de la solution optimale sans considération des contraintes.

En effet, si la capacité des magasins des blocs et central sont illimités, il est facile de calculer la solution optimale sans considération de contraintes. Mais la solution optimale sans considération de contraintes est souvent non réalisable. Il s'agit donc de chercher la solution optimale permettant de respecter les contraintes.

Nous avons comparé :

- Les intervalles d'approvisionnement optimaux sans considération de contraintes ( $mi^*$ ) (avec  $i : 1, 2$  blocs) et ceux obtenus par les trois méthodes de résolution.

- Les quantités maximales allouées à chaque produit dans les blocs opératoires.
- Les coûts de stockage, de manutention et total.

Dans ce paragraphe, le scénario considéré est le suivant : un délai d'approvisionnement des produits est une loi normale de moyenne 4 semaines et d'écart type 1 semaine, les volumes magasins bloc sont de l'ordre de 50 m<sup>3</sup> et le volume du magasin central est de l'ordre de 1000m<sup>3</sup>.

### 3.1.1.1 Intervalles d'approvisionnement

La figure 5-6 permet de comparer l'intervalle d'approvisionnement de chaque produit au bloc 1 à l'issue des trois méthodes de résolution et la solution optimale sans considération des contraintes.

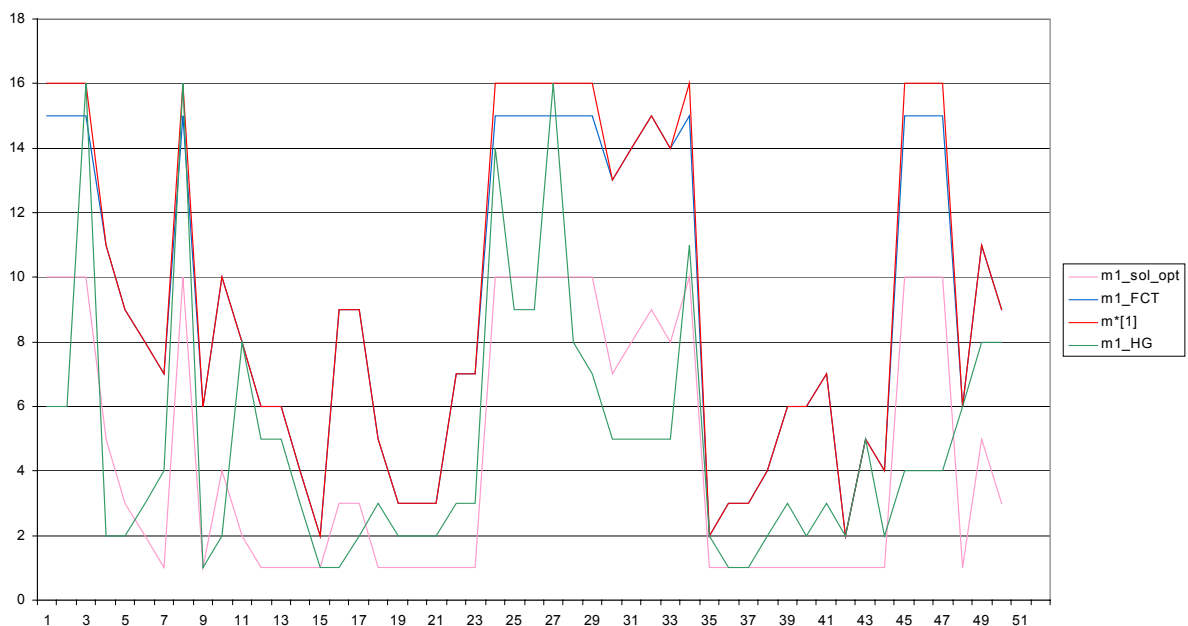


Figure 5-6. Intervalles d'approvisionnement du bloc 1

Les intervalles optimaux non réalisables sans considération des contraintes (m1\*) sont les plus élevés. Ceci paraît logique vu qu'on cherche dans les méthodes de résolution à diminuer les intervalles d'approvisionnement afin de pouvoir satisfaire les capacités des magasins.

Les intervalles (m1\_HG) obtenus par la méthode « heuristique gloutonne » se coïncident pour certains produits avec (m1\*) et pour d'autres variables diminuent jusqu'à 15 semaines. Les intervalles (m1\_sol\_opt), obtenus par la méthode « linéarisation autour de la solution optimale », sont en translation avec (m1\*) de 6 semaines. En effet, la méthode linéarisation autour de la solution optimale propose de diminuer l'intervalle optimal non réalisable de tous les produits lors de chaque itération. Nous avons obtenu une solution réalisable qu'après six itérations. La méthode « linéarisation de la fonction objectif » se fait en une itération mais couvrant tout le domaine de définition des intervalles d'approvisionnement. Toutefois, nous constatons que la méthode « linéarisation de la fonction objectif dans tout le domaine de définition » en diminuant l'intervalle de quelques produits d'une semaine (m1\_FCT), a réussi à obtenir une solution réalisable alors que la méthode « linéarisation autour de la solution

optimale » a réussi à avoir une solution réalisable qu'après six itérations. Il serait intéressant donc d'examiner les intervalles d'approvisionnement du bloc 2.

La figure 5-7 détermine l'intervalle d'approvisionnement de chaque produit au bloc 2.

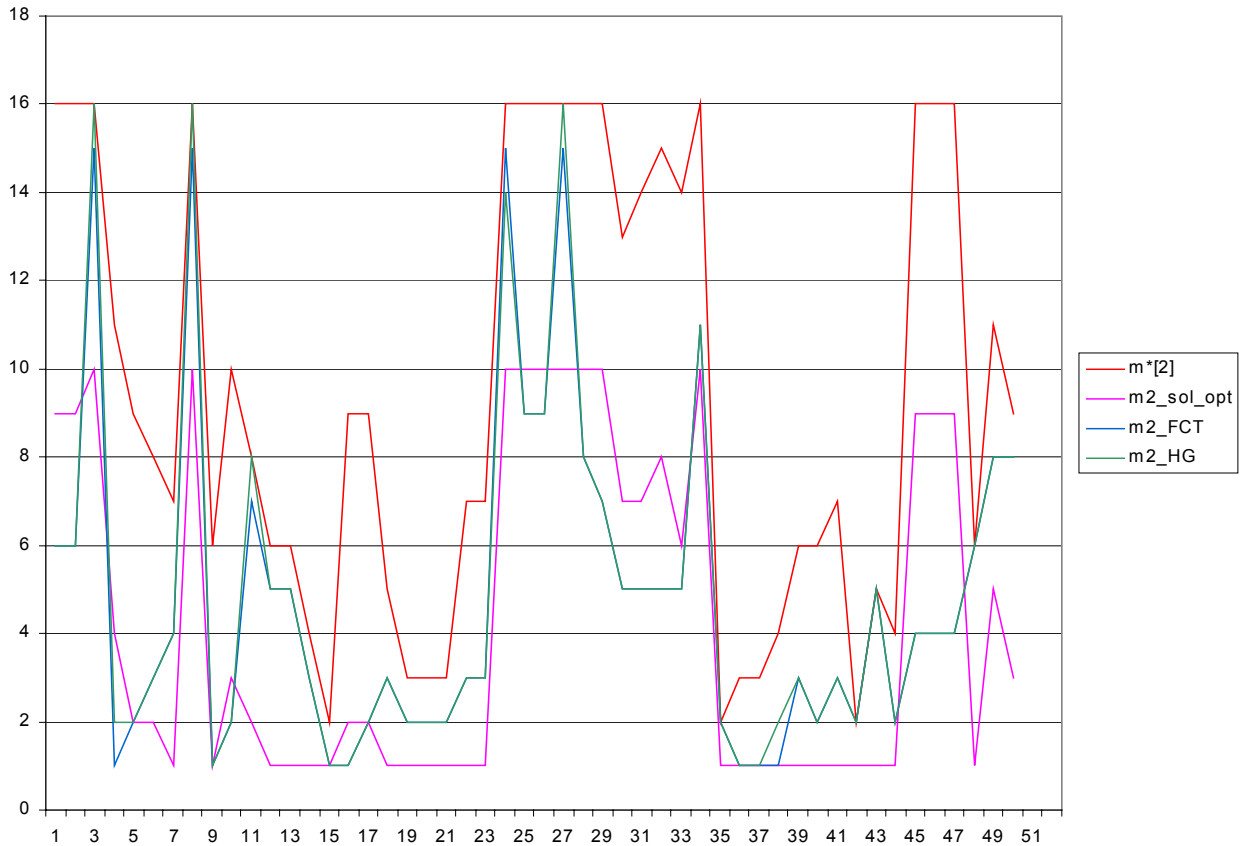


Figure 5-7. Intervalles d'approvisionnement du bloc 2

Les intervalles d'approvisionnement issus de la méthode linéarisation de la fonction objectif dans l'intervalle de définition (m2\_FCT) ne suivent plus les intervalles optimaux non réalisables (m2\*) ; qui peuvent être distants des intervalles optimaux de huit semaines pour certains produits. La méthode linéarisation autour de la solution optimale propose de diminuer les intervalles d'approvisionnement de tous les produits lors de chaque itération. Ceci justifie la translation entre la courbe (m2\*) et la courbe (m2\_sol\_opt) de 6 semaines. Les intervalles (m2\_HG) obtenus par la méthode « heuristique gloutonne » se coïncident pour la plupart des produits avec (m2\_FCT).

Ainsi, les deux méthodes de linéarisation, linéarisation autour de la solution optimale et linéarisation de la fonction objectif dans tout le domaine de définition, aboutissent à des intervalles d'approvisionnement très différents. Les intervalles d'approvisionnement issus de l'heuristique gloutonne coïncident pour la plupart des produits avec ceux issus de la méthode de linéarisation de la fonction objectif dans tout le domaine de définition. Ceci justifie l'efficacité de l'heuristique gloutonne.

3.1.1.2 Quantités max. alloués au produits

La figure 5-8 détermine le niveau de reapprovisionnement de chaque produit dans le magasin bloc 1.

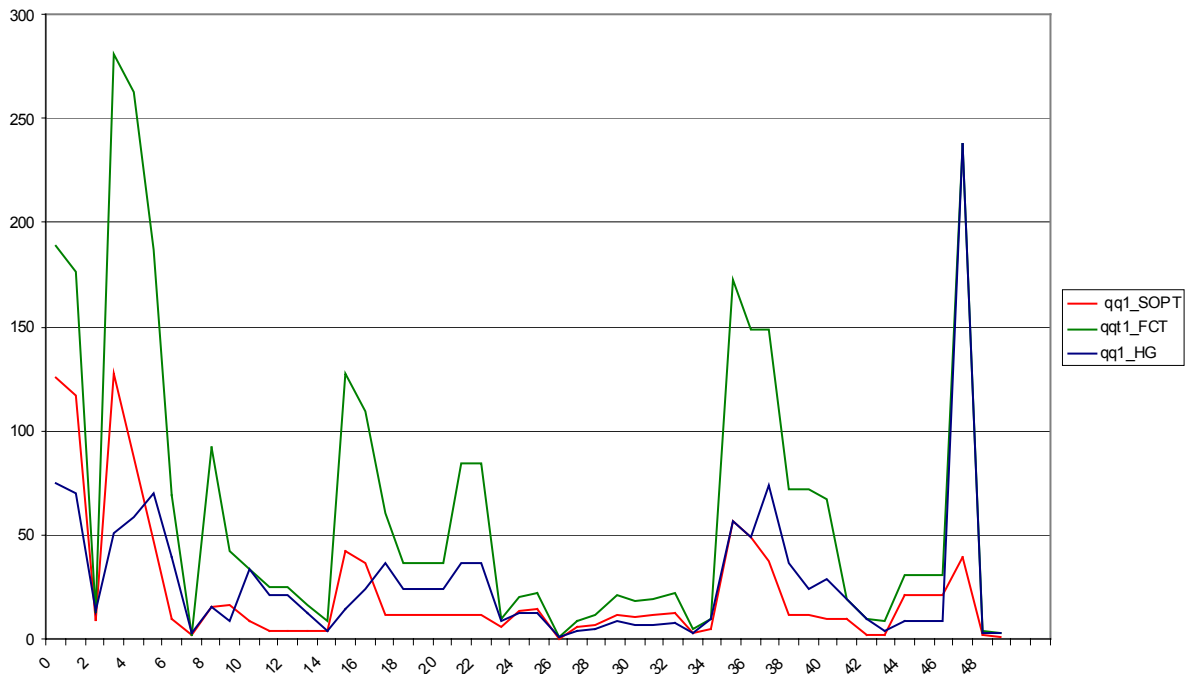


Figure 5-8. Quantités max allouées au magasin bloc 1

La méthode « linéarisation de la fonction objectif dans tout l'intervalle de définition » exige un nombre élevé max. à allouer à approvisionner périodiquement au magasin bloc. Ceci paraît logique d'après les résultats obtenus dans la figure 5-6. Les intervalles d'approvisionnement les plus élevés sont ceux issus de cette méthode. L'heuristique gloutonne et la méthode de linéarisation autour de la solution optimale permettent de minimiser plus les quantités max. à allouer pour chaque produit. L'espace à allouer à chaque produit dépend de leurs volumes.



3.1.1.3 Coûts

La figure 5-9 permet de comparer les coûts de stockage, de manutention et total des trois méthodes de résolution.

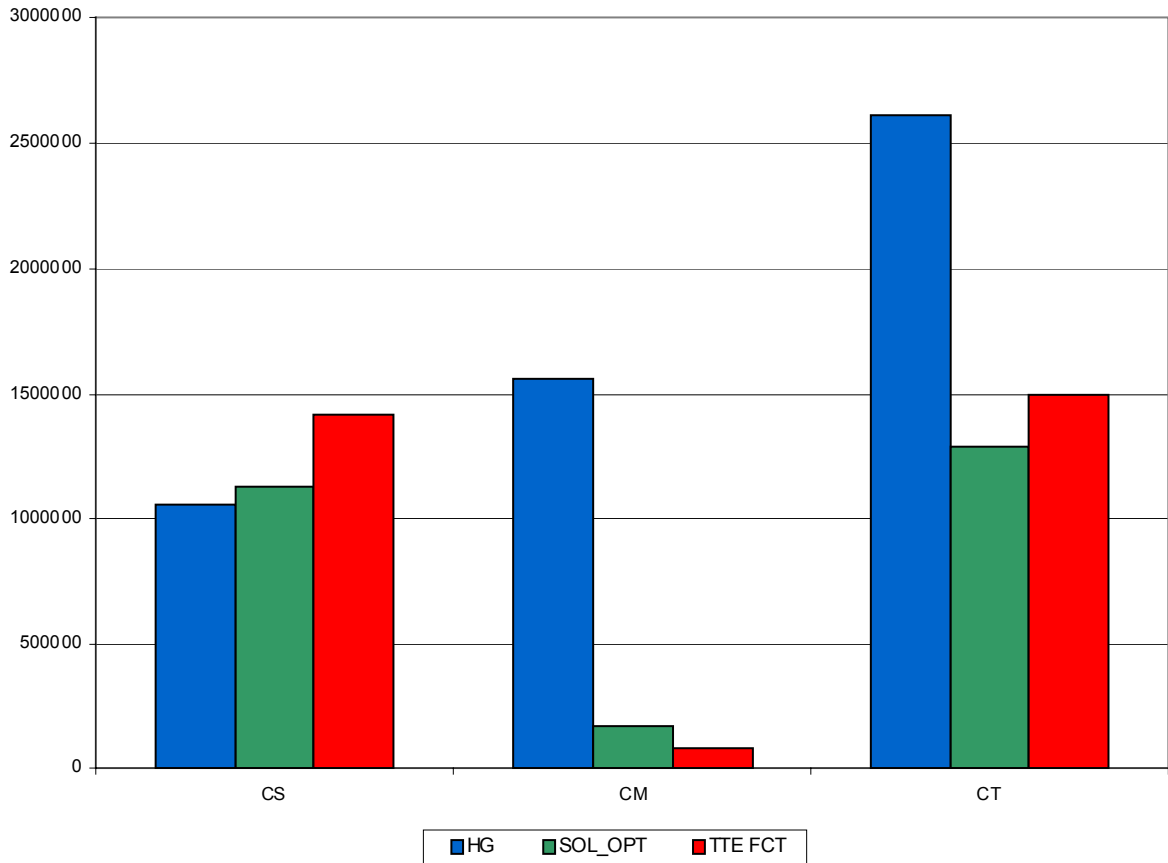


Figure 5-9. Coûts

La figure 5-9 montre que l'heuristique gloutonne est la meilleure méthode qui minimise le coût de stockage. Toutefois, elle engendre des coûts de manutention très élevés, ainsi un coût total très élevé. L'heuristique gloutonne choisit le produit dont le volume est le plus grand. De ce fait nous minimisons le coût de stockage sans se soucier du coût de manutention induit.

Le coût de manutention représente le  $\frac{1}{4}$  du coût de stockage dans les deux méthodes de linéarisation. En effet, d'une part nous avons considéré un coût de stockage des deux magasins blocs et le magasin central alors que nous avons pris en compte que le coût de manutention des blocs opératoires d'autre part, les infirmières sont très peu payées dans les hôpitaux tunisiens.

La solution obtenue à partir de la méthode « linéarisation autour de la solution optimale » est la meilleure. Ceci nous paraît logique, puisque la méthode propose de minimiser l'écart avec les intervalles optimaux non réalisables.

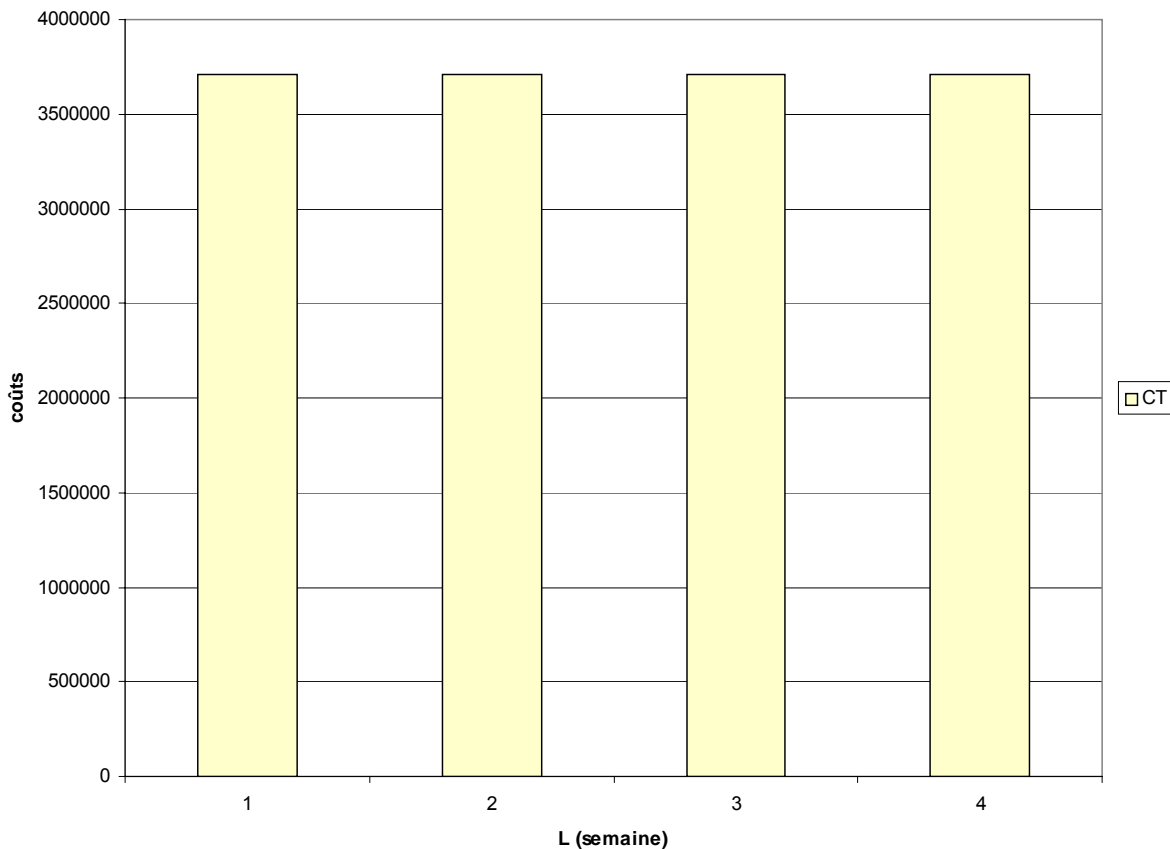
### 3.1.2 Variation des paramètres

Nous avons considéré la méthode « linéarisation autour de la solution optimale ». Nous faisons varier les trois paramètres : (1) le délai d'approvisionnement, (2) le volume magasin bloc et (3) le volume magasin central.

#### 3.1.2.1 Paramètre délai d'approvisionnement

Nous avons considéré le scénario suivant : les volumes magasins bloc sont de l'ordre de 50 m<sup>3</sup> et le volume du magasin central est de l'ordre de 1000 m<sup>3</sup>. Nous avons supposé que le délai d'approvisionnement suit une loi normale d'écart type une semaine. Nous avons fait varier la moyenne de une à quatre semaines. En réalité, les délais d'approvisionnement des fournisseurs de l'hôpital Charles Nicoles sont 4 semaines.

La figure 5-10 illustre l'évolution du coût en faisant varier le délai d'approvisionnement.



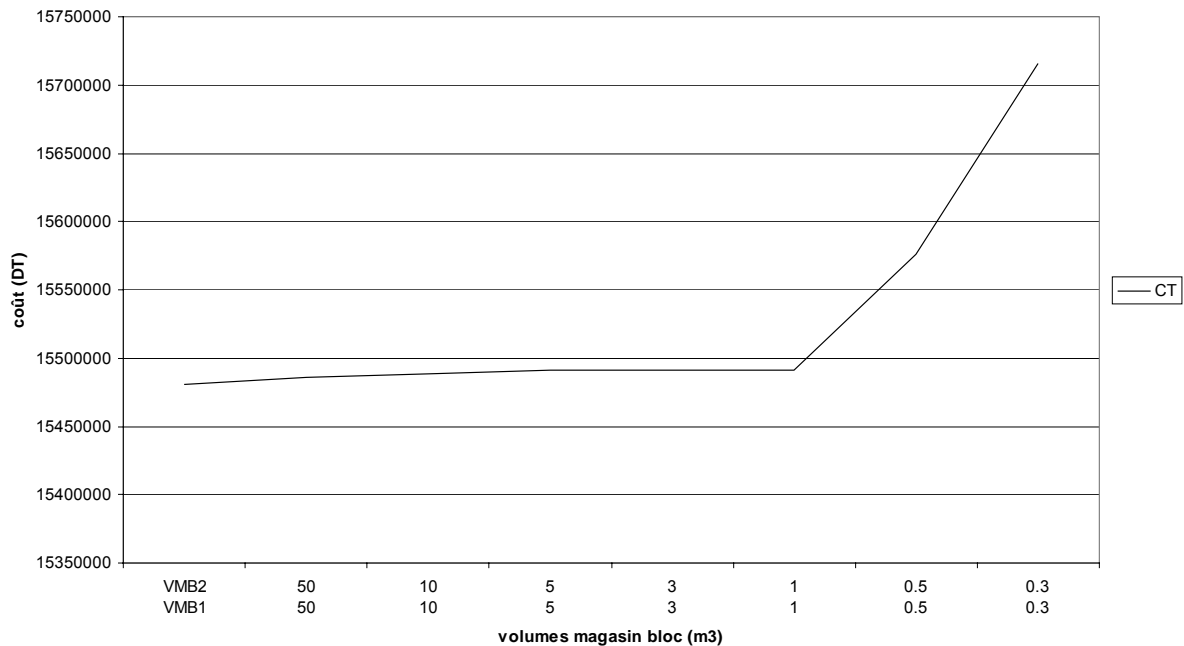
**Figure 5-10. Variation de délai d'approvisionnement**

L'approche cyclique est non sensible à la variation du délai d'approvisionnement. On obtient toujours les mêmes coûts. En effet les intervalles d'approvisionnement sont assez importants de 1 à 10 semaines. Ainsi pour les produits, dont les intervalles d'approvisionnement supérieur à 4 semaines et dont la demande est plus importante que la quantité approvisionnée au bloc, ne seront pas influés par ce délai d'approvisionnement (4 semaines).

### 3.1.2.2 Volume magasin bloc

On maintient le volume du magasin central à 1000 m<sup>3</sup> et un délai d'approvisionnement à 1 semaine et on fait varier les volumes des magasins blocs. Il s'agit de dimensionner les magasins blocs.

La figure 5-11 permet d'étudier l'évolution du coût total en fonction des volumes magasins blocs.



**Figure 5-11. Variation volumes magasins blocs**

La figure 5-11 montre que le coût total décroît avec le volume. En effet en augmentant le volume du magasin du bloc, on s'autorise à stocker plus. Ainsi on fait diminuer le coût de manutention et augmenter le coût de stockage. En diminuant les volumes des magasins de blocs de moins de 1 m<sup>3</sup>, le coût total augmente exponentiellement. Au-delà de 0.3 m<sup>3</sup>, on n'a pas trouvé de solution réalisable. Pour un volume de magasin [1, 50], le coût total est moins sensible à la variation des volumes magasins. Ainsi, il serait inutile de s'investir pour un grand magasin bloc. Il nous semble qu'un magasin bloc de 5 m<sup>3</sup> est suffisant.

### 3.1.2.3 Volume magasin central

On considère le scénario suivant : un délai d'approvisionnement d'une semaine en moyenne et des volumes magasins blocs de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>.

La figure 5-12 permet d'étudier l'évolution du coût total en fonction de volume magasin central.

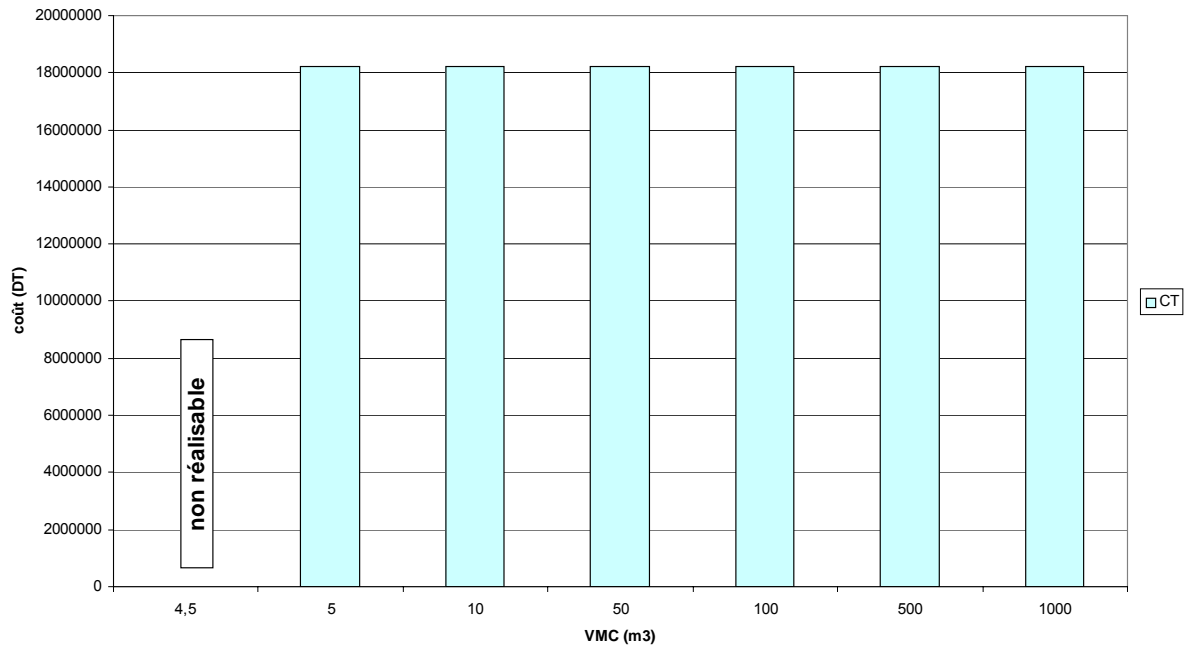


Figure 5-12. Variation volume magasin central

Le coût total est non sensible à la variation du volume magasin central. De ce fait, il suffit d'allouer un espace de 5m<sup>3</sup> dans le magasin central destinées pour les matériels blocs opératoires. Ainsi, en faisant augmenter l'espace alloué aux consommables des blocs opératoires dans le magasin central, ne permet pas de minimiser le coût total. En effet, en augmentant le volume magasin central, on pourrait stocker d'avantage et ainsi de minimiser le coût de manutention. Toutefois, comme nous l'avons mentionné précédemment, dans le contexte tunisien le coût horaire du personnel infirmier est très faible. Ainsi, c'est moins coûteux d'augmenter les intervalles d'approvisionnement que de stocker.

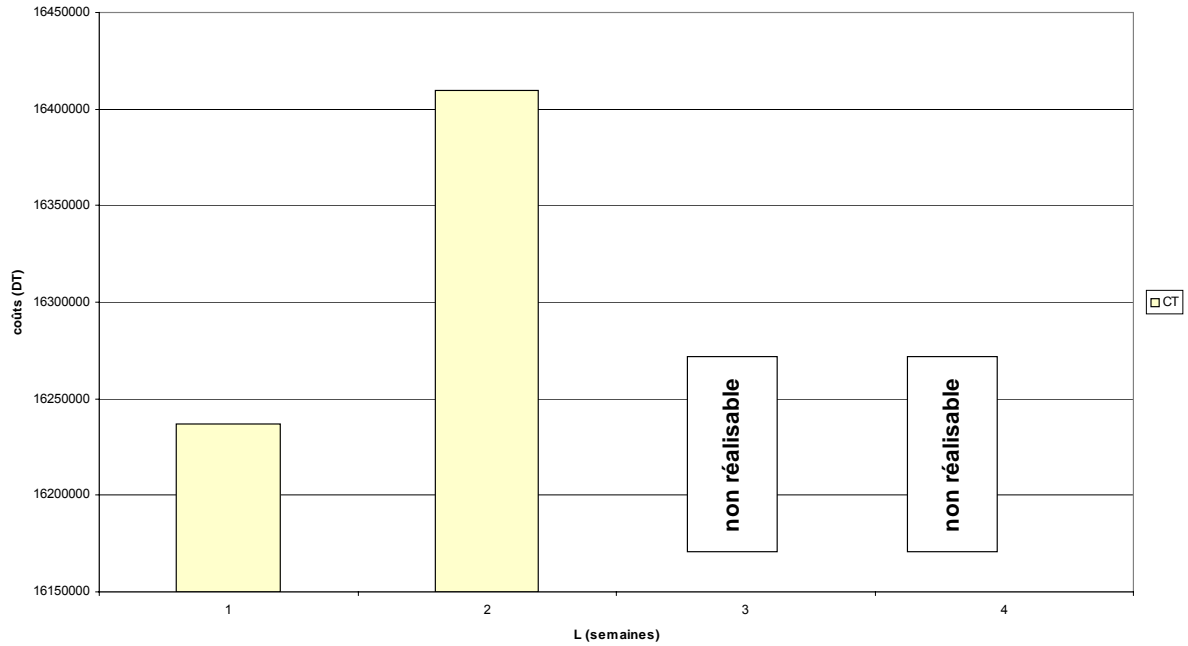
### 3.2 Approche chaîne d'approvisionnement

Il s'agit de jouer sur les paramètres délais d'approvisionnement, volumes magasins blocs et volume magasin central.

#### 3.2.1 Délai d'approvisionnement

Le scénario considéré est le suivant : les volumes magasins blocs 1 et 2 de l'ordre de 50m<sup>3</sup> et le volume magasin central de 1000m<sup>3</sup>. Nous supposons un niveau N0 de stock initial dans les différents magasins blocs et central. Nous faisons varier la moyenne des délai d'approvisionnement de 1 à 4 semaines.

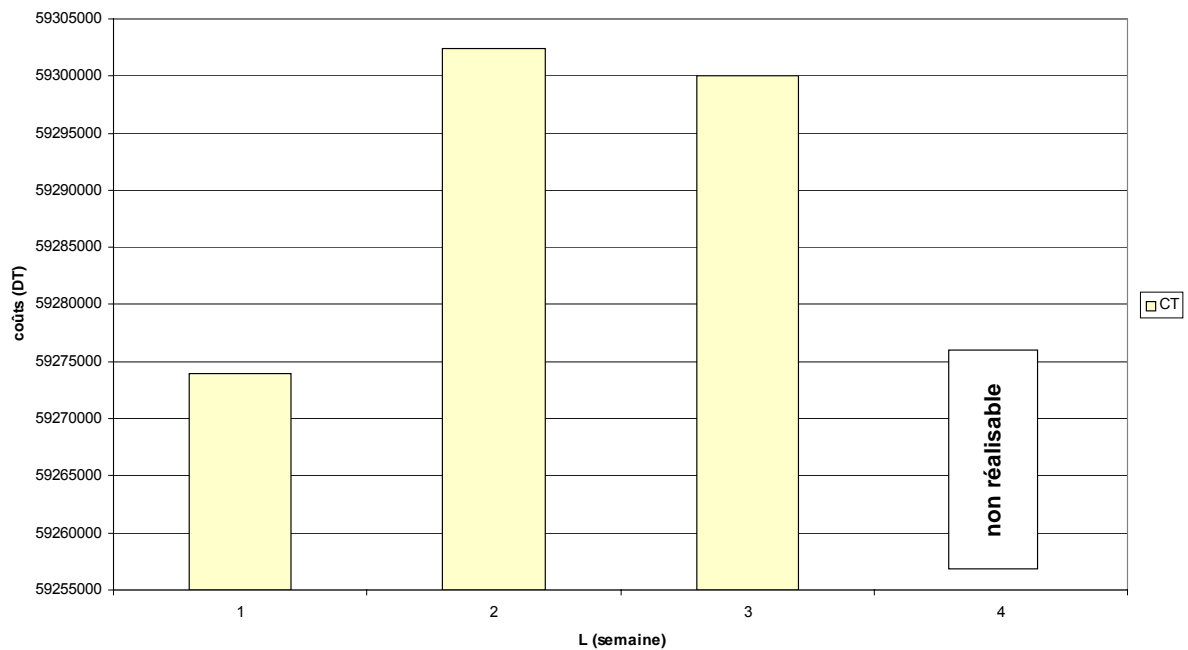
La figure 5-13 illustre la variation du coût en fonction du délai d'approvisionnement avec un stock initial N0.



**Figure 5-13. Variation du délai d'approvisionnement (stock initial N0)**

Avec un stock initial N0, nous n'avons pas de solutions réalisables pour des délais d'approvisionnement de moyenne 3 et 4 semaines. En augmentant le délai d'approvisionnement d'une semaine, le coût total augmente de 0.01%. Ainsi, on peut se contenter d'un délai d'approvisionnement de deux semaines.

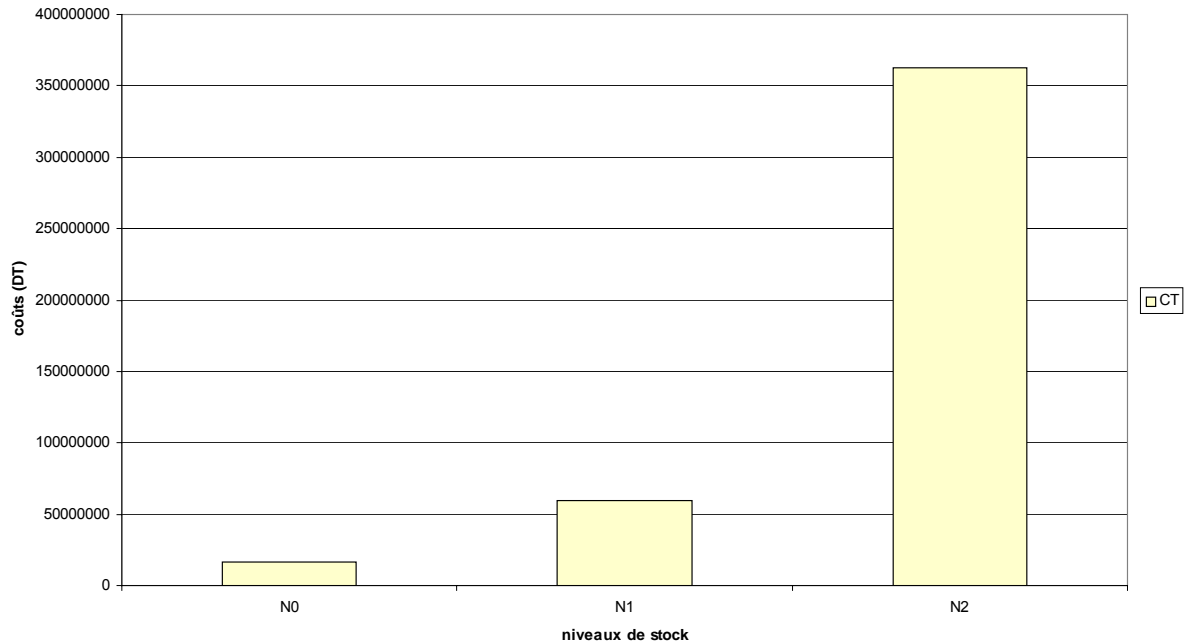
Afin d'avoir une solution réalisable pour les délais d'approvisionnement 3 et 4 semaines, nous avons fait augmenter le niveau de stock initial du N0 au niveau N1 (figure 5-14).



**Figure 5-14. Variation du délai d'approvisionnement (stock initial N1)**

Ainsi, nous avons réussi à obtenir une solution réalisable pour un délai d'approvisionnement de moyenne 3 semaines. Toutefois, on n'a pas toujours une solution pour un délai de 4 semaines. De ce fait, nous avons augmenté le niveau de stock de N1 à N2 afin d'obtenir une solution réalisable.

Nous comparons les coûts induits en augmentant les niveaux de stock de N0 à N2 ( figure 5-15)



**Figure 5-15. Variation des niveaux de stock**

En augmentant les niveaux de stock de N0 à N2, le coût total augmente de 87% (figure 5-15). De ce fait il serait nécessaire de bien sélectionner les fournisseurs selon le critère délai d'approvisionnement afin de minimiser le plus possible le coût total.

Pour un même niveau de stock N2, en faisant varier le délai d'approvisionnement, le coût total varie légèrement. Le coût total est non sensible au délai d'approvisionnement. Ceci rejoint les résultats trouvés dans l'approche cyclique.

3.2.2 Volume magasin bloc

La figure 5-16 permet d'étudier l'évolution du coût total en fonction des volumes magasins blocs.

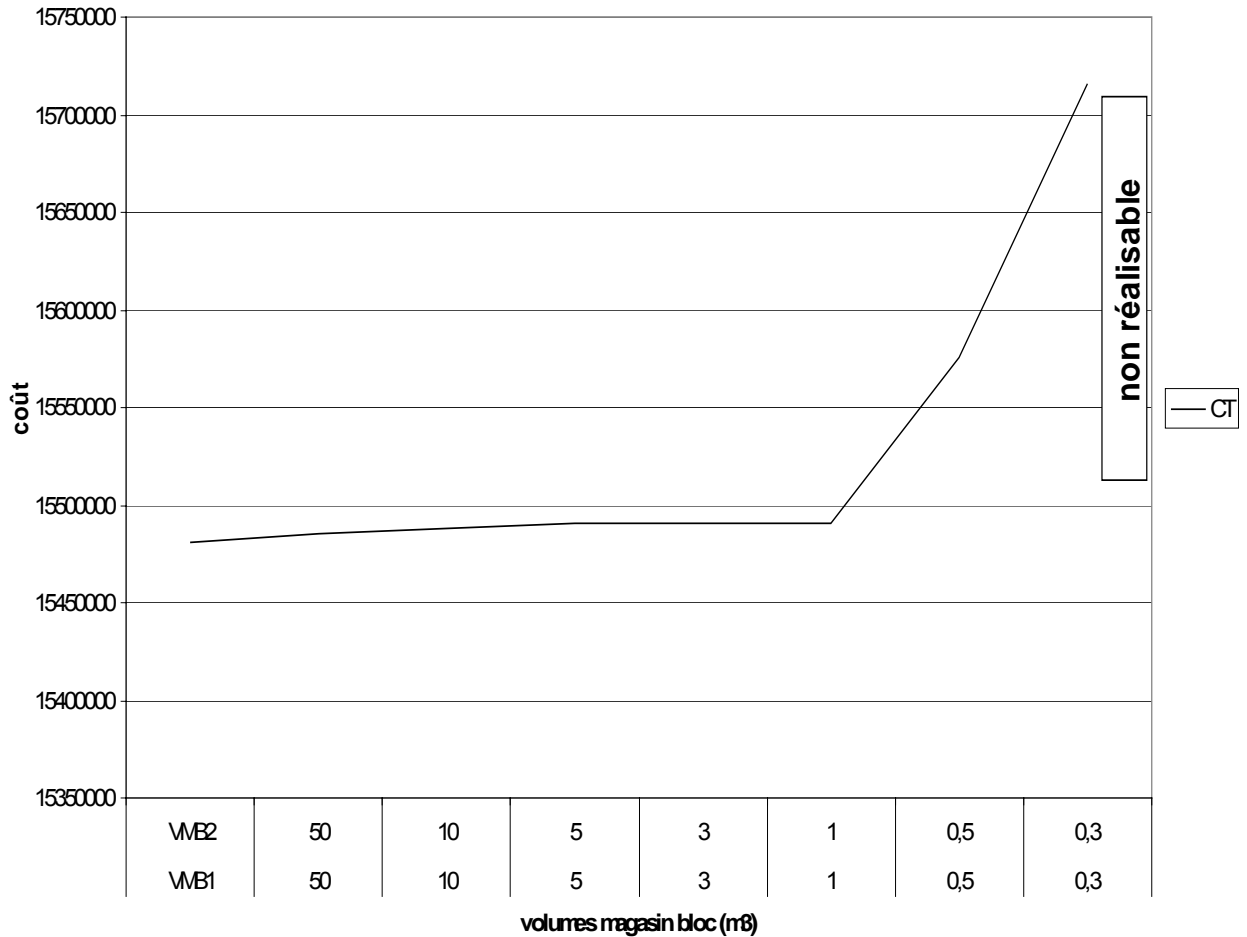


Figure 5-16. Variation volumes magasins blocs

Les résultats obtenus rejoignent ceux obtenus dans l'approche cyclique. En diminuant les volumes de magasins blocs de moins de  $3\text{m}^3$ , autrement dit on stocke dans les salles opératoires, le coût total augmente exponentiellement. Au-delà de  $0.3\text{m}^3$ , on ne réussit pas à obtenir une solution réalisable. On peut se contenter d'un volume magasin bloc de  $5\text{m}^3$ .

### 3.2.3 Volume magasin central

La figure 5-17 permet d'étudier l'évolution du coût total en fonction des volumes magasins blocs.

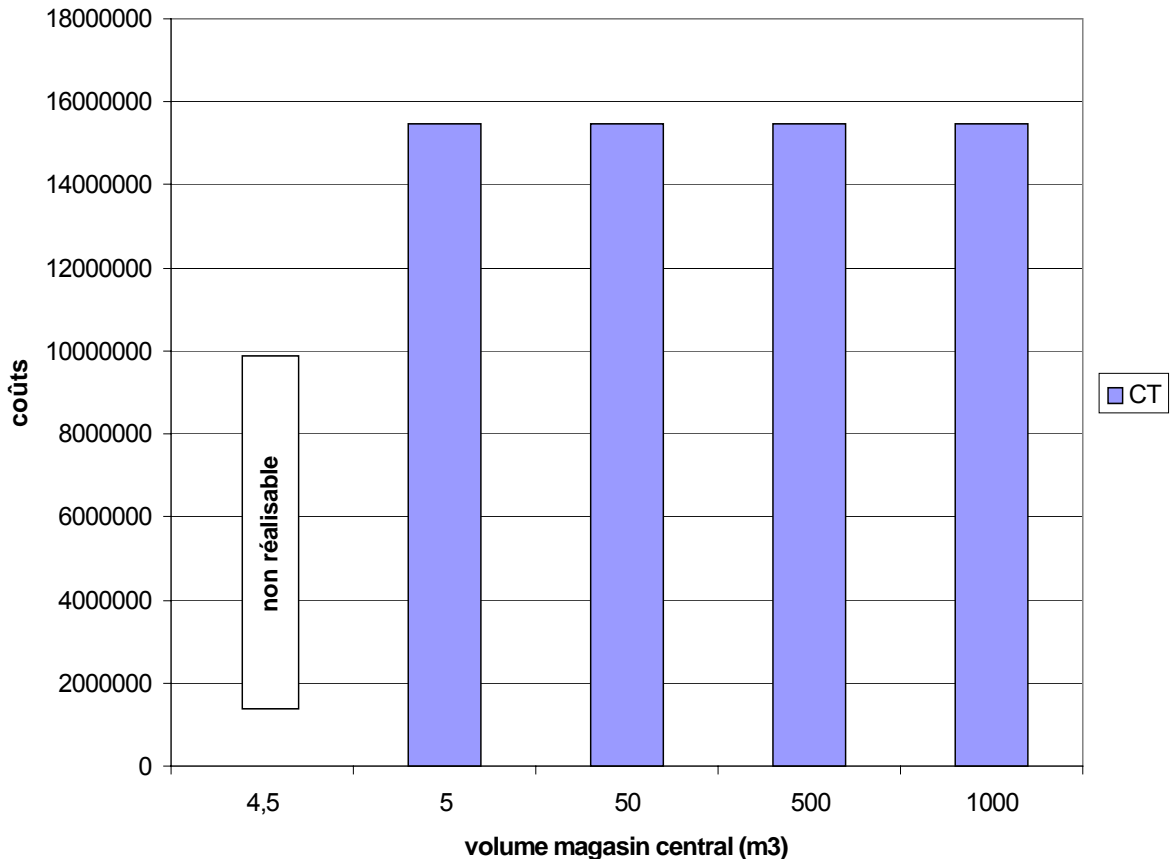


Figure 5-17. Variation volume magasin central

L'approche chaîne d'approvisionnement est peu sensible à la variation du magasin central. Il suffit donc d'allouer un espace de 5 m<sup>3</sup> pour les matériels blocs opératoires dans le magasin central. Ceci est dû la rémunération faible du personnel infirmier dans les établissements de soins tunisiens.

### 3.3 Comparaison des deux approches

Nous avons maintenu un délai d'approvisionnement d'une semaine en moyenne, un volume de magasin central ainsi que des magasins blocs de 5m<sup>3</sup>. Il s'agit de comparer la performance des deux approches cyclique et chaîne d'approvisionnement selon les critères : coût stockage, coût manutention et coût total. La méthode que nous avons considérée dans l'approche cyclique est « la méthode de linéarisation autour de la solution optimale non réalisable ». dans la figure 5-18, nous comparons les coûts de stockage, dans la figure 5-19 les coûts de manutention et dans la figure 5-20 les coûts totaux.



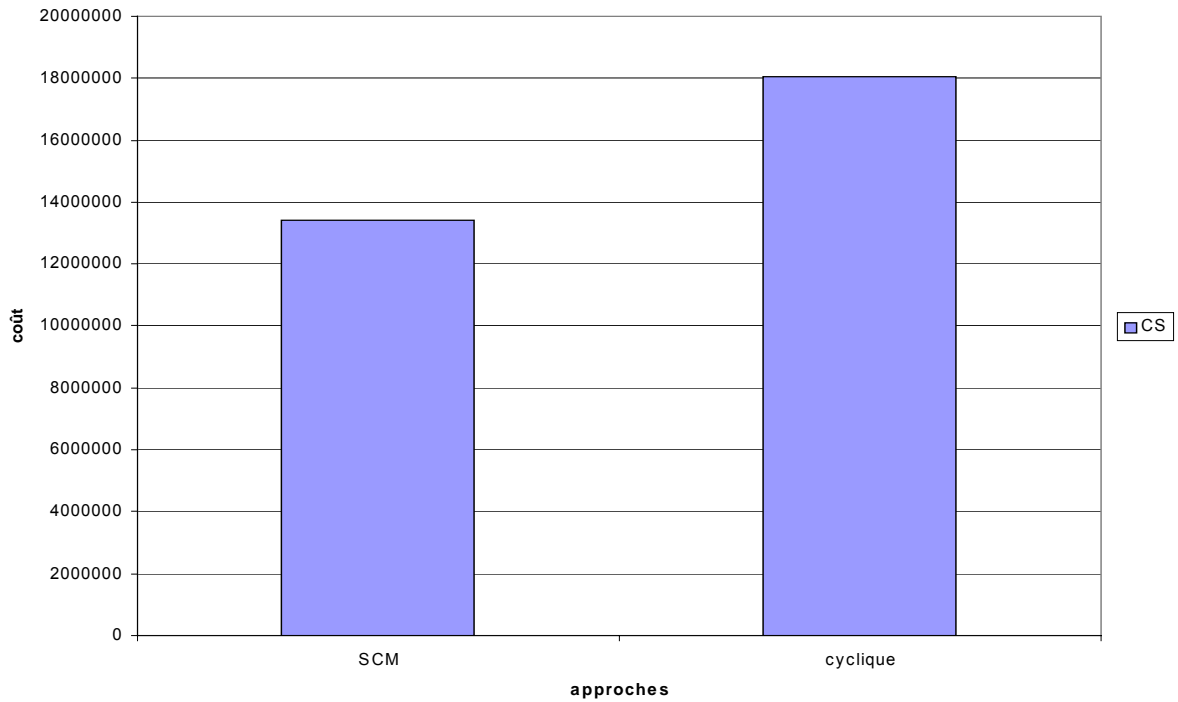


Figure 5-18. Coût stockage

La figure 5-18 montre que le coût de stockage de l'approche cyclique est plus élevé que celui de l'approche chaîne d'approvisionnement. Ceci paraît logique. En effet, dans l'approche chaîne d'approvisionnement, on approvisionne qu'en cas de besoin, alors que dans l'approche cyclique on approvisionne périodiquement. La différence est importante de 30%.

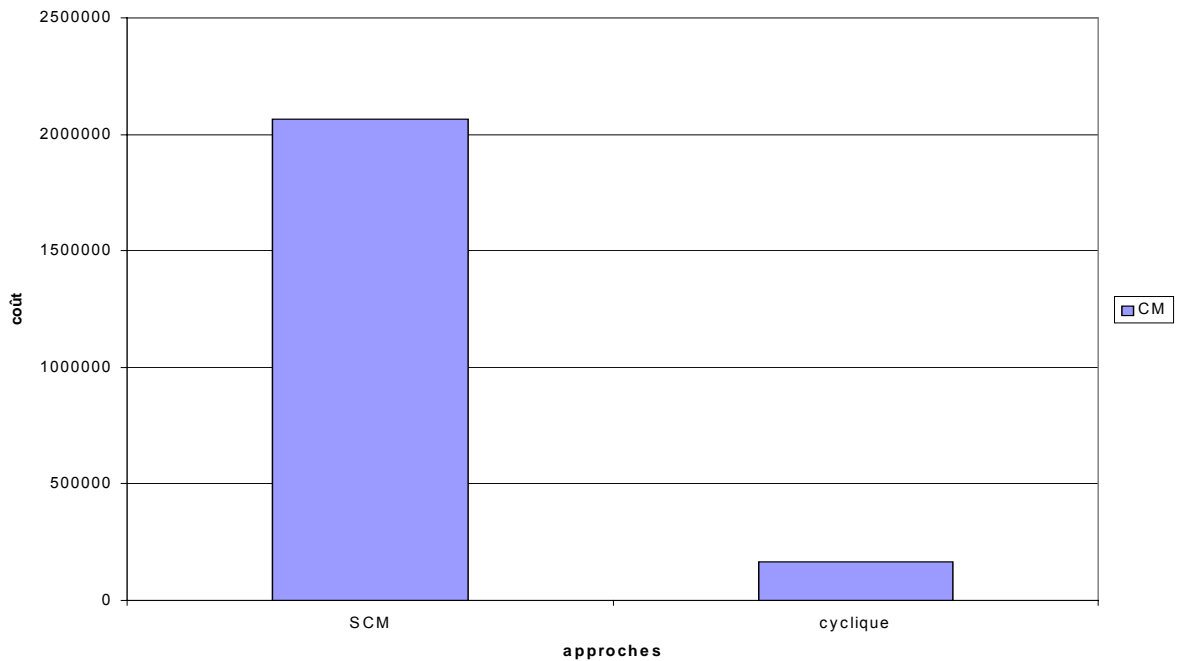


Figure 5-19. Coût de manutention

La figure 5-19 montre que le coût de manutention de l'approche chaîne d'approvisionnement dépasse 85% celui de l'approche cyclique. En effet, la chaîne d'approvisionnement requiert le réapprovisionnement du magasin bloc à tout instant où on a besoin de matériels. Alors que l'approche cyclique exige le réapprovisionnement des blocs périodiquement.

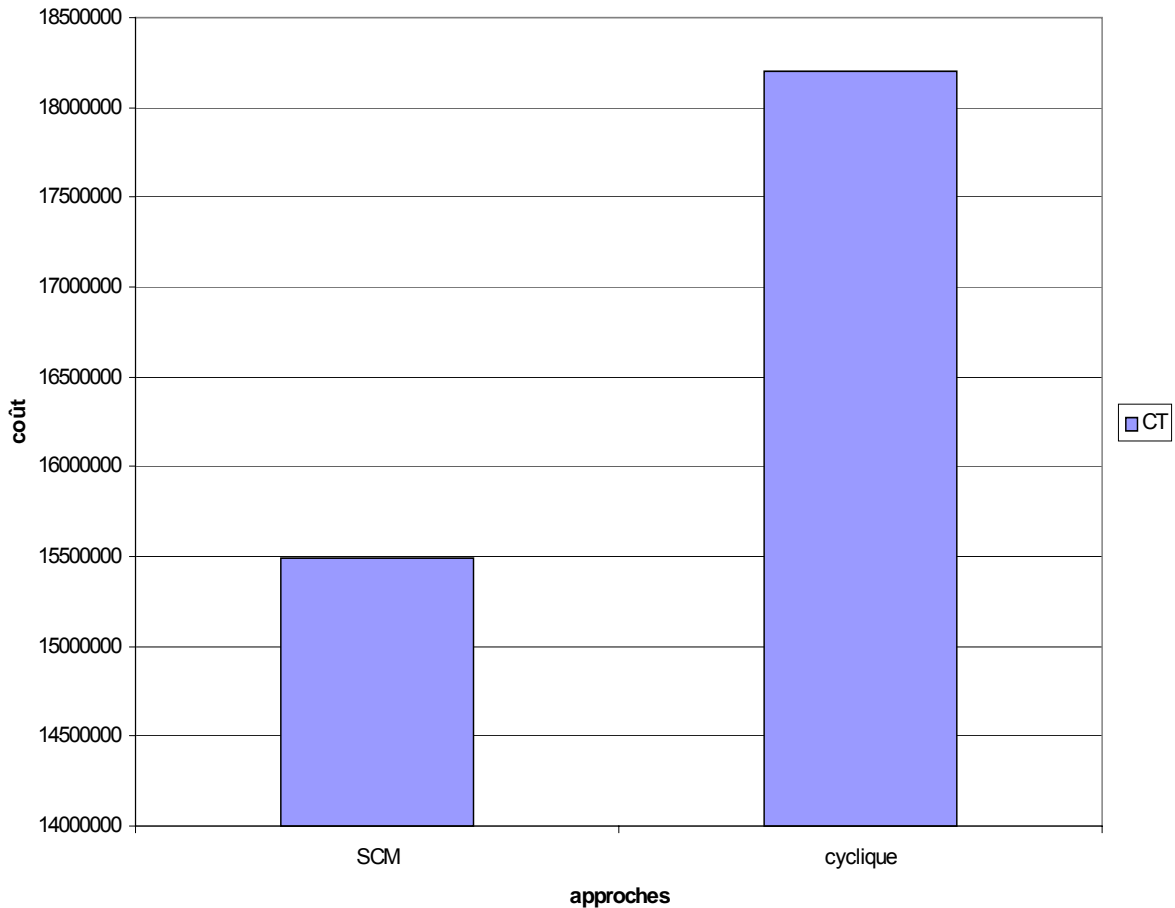


Figure 5-20. Coût total

Le coût total de l'approche chaîne d'approvisionnement (SCM) est moins élevé que celui de l'approche cyclique. Alors que le coût de manutention de l'approche SCM dépasse 85% celui de l'approche cyclique. En effet le coût de manutention représente  $\frac{1}{4}$  du coût de stockage. Ceci est dû à la rémunération faible du personnel infirmier dans les hôpitaux tunisiens qui ne dépassent pas les 300 dinars par mois. Dans le contexte français, le personnel infirmier acquit un salaire plus important. De ce fait, les résultats de nos approches ne sont appliqués qu'au contexte tunisien.

#### 4 Conclusion

Nous avons proposé deux approches cyclique et chaîne d'approvisionnement afin d'approvisionner les blocs opératoires. La particularité de notre modèle consiste dans la prise en compte des contraintes de rupture de stock et de capacité des magasins.

Les deux approches cycliques et chaîne d'approvisionnement sont peu sensibles à la variation du volume magasin central. L'existence d'un magasin bloc permet de diminuer

énormément le coût total. La sélection des fournisseurs dont les délais d'approvisionnement sont en moyenne de une semaine permet de minimiser le coût total et les stocks initiaux dans les magasins blocs et central.

Le coût de stockage de l'approche chaîne d'approvisionnement est moins faible que celui de l'approche cyclique. Alors que le coût de manutention est beaucoup plus élevé. Les résultats obtenus sont propres au contexte tunisien vu la rémunération faible du personnel infirmier.

## CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans le cadre de cette thèse est dédié à l'étude d'un système bien particulier : les établissements de soins. Le système hospitalier est une structure complexe différente des organisations « classiques », entreprises industrielles et services, caractérisé par : l'hétérogénéité, le professionnalisme, une présence forte du facteur humain. De ce fait, on est appelé à prendre en compte les particularités des établissements des soins lors de la modélisation.

Nous nous sommes intéressé plus particulièrement au plateau médico-technique, ressource goulot des établissements de soins. La question est d'améliorer sa qualité de soins tout en minimisant les coûts. Vers le plateau médico-technique converge l'ensemble des flux de patients et des flux matériels. Il s'avère intéressant de satisfaire les patients en minimisant les temps d'attente, améliorant la qualité de soins et minimisant le coût de sa prise en charge. Toutefois, on ne peut pas prendre en charge un patient sans avoir les ressources matérielles nécessaires. Ainsi le pilotage des flux patients doit être accompagné d'une gestion efficace des ressources matérielles.

Les deux approches flux patients et matériels sont liées hiérarchiquement. L'algorithme construction du PDA permet de déterminer le nombre d'interventions par type par chirurgien. Connaissant les consommables demandés pour chaque type d'intervention, nous pouvons déterminer la demande moyenne en consommable par bloc par semaine. Cette demande servira comme un input pour l'approche cyclique. Il en est de même pour l'approche chaîne d'approvisionnement. En effet, lors de l'affectation des interventions chaque semaine, nous pouvons déterminer le nombre d'interventions par type par chirurgien, d'où la demande par type par chirurgien pour chaque semaine : c'est la demande dynamique, input de l'approche chaîne d'approvisionnement. Le lien entre les deux approches est illustré dans la figure ci-dessous.

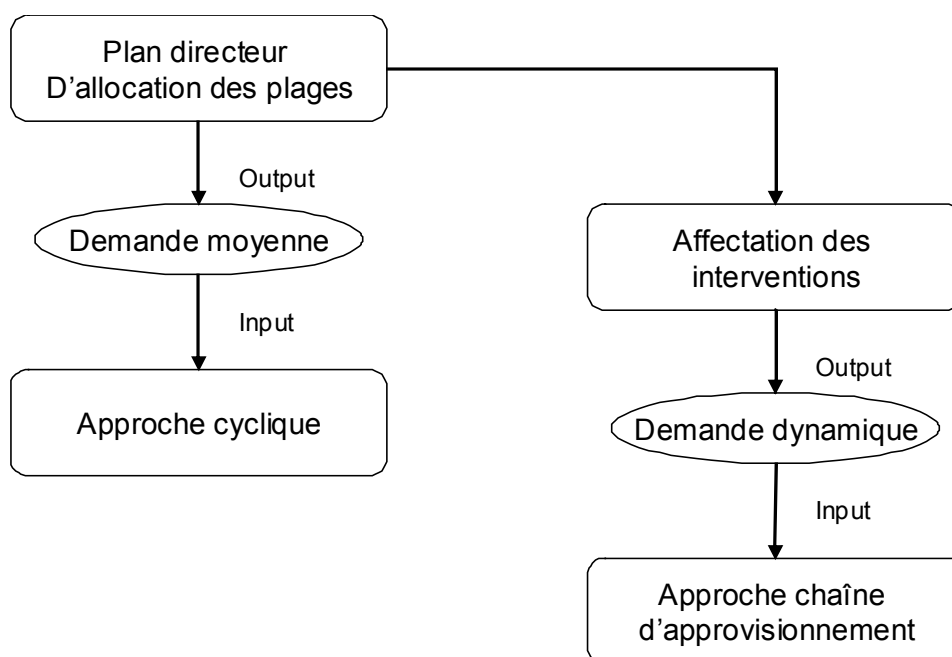


Figure. Approche globale

Pour le pilotage des flux patients, nous avons établi une programmation par pré-allocation des plages avec processus d'ajustement accomplie en trois phases : (1) construction d'un plan directeur d'allocation des plages aux différents chirurgiens ; (2) affectation des interventions aux différentes plages ; et (3) réaction en temps réel en cas d'occurrence d'aléas. Deux objectifs sont mis en avance : (1) qualitatif : minimiser le nombre des interventions reportées, et (2) économique : maximiser l'exploitation du plateau médico-technique. A travers les expérimentations, nous avons déduit que notre approche est flexible. Le coût de la flexibilité, mesurée par le nombre de modifications du programme prédictif est faible. L'approche est robuste vis-à-vis au critère qualitatif et moins robuste selon le critère économique. Ceci est dû au surdimensionnement des plages communes.

Pour le pilotage de flux matériels, nous avons proposé deux approches : approche chaîne d'approvisionnement et approche cyclique. L'approche Chaîne d'approvisionnement consiste à suivre le stock des différents consommables dans les magasins blocs, de commander qu'en cas de besoin auprès du magasin central. Un produit sera approvisionné périodiquement, à un intervalle multiple d'un certain intervalle de base constitue le principe de l'approche cyclique. La particularité de nos modèles consistent dans la prise en compte des deux contraintes : (1) la non rupture du stock et (2) le respect de la capacité des magasins.

Nous avons modélisé l'approche cyclique par un programme non linéaire. Trois méthodes de résolution ont été proposées : (1) une heuristique gloutonne, (2) linéarisation de la fonction objectif dans tout le domaine de définition et (3) linéarisation de la fonction objectif autour de la solution optimale. L'approche chaîne d'approvisionnement est modélisée par un programme linéaire. L'approche chaîne d'approvisionnement est modélisée par un programme linéaire.

Ce travail de recherche 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.

Pour le pilotage des flux patients, des approfondissements peuvent être apportées à l'approche prédictive ainsi que réactive. Il serait intéressant de redimensionner les plages communes afin d'obtenir une approche robuste vis-à-vis les deux critères : qualitatif et économique. Pour l'approche réactive, nous avons pris en compte que des urgences non vitales. De ce fait, il serait intéressant de prendre en compte de tous les types d'urgence : vitale, non vitale dans l'approche réactive.

Pour le pilotage des flux matériels, il serait intéressant d'étendre l'étude pour les autres types de matériels : médicaments, matériels stérilisés ; de prendre en compte d'autres types de contraintes liées d'une part aux fournisseurs : capacité limitée des fournisseurs ; d'autre part aux médicaments : date périmée.

Pour finir, ce travail ouvre en perspectives en des problématiques très intéressantes qui ciblent plus particulièrement la synchronisation des flux patients et matériels. Il serait intéressant de minimiser le plus possible le coût de stockage, très élevé dans les hôpitaux tunisiens, et ceci en assurant un zéro stock.



# *ANNEXE*

## Annexe 1. Prise en compte des aléas dans le contexte industriel

Notre revue de littérature portera sur les travaux qui prennent en compte l'aléa dans un environnement industriel. L'industrie et la production de biens ont connu un nombre important de travaux intéressés à la prise en compte des aléas. [Val, 1992] précise que les performances réellement atteintes au sein d'un atelier sont souvent éloignées de celles initialement prévues en gestion de production sous l'effet des incertitudes et des aléas. [Rossi, 2003] définit les incertitudes comme des imprécisions qui affectent les mesures physiques et les erreurs qui découlent de la différence entre l'estimation prévisionnelle d'une grandeur et sa valeur effective. Les aléas, par ailleurs, sont des événements de type discret qui entraînent des modifications dans le modèle lui-même [Rossi, 2003]. De ce fait, les méthodes classiques qui ne tiennent pas compte du caractère incertain des données et des aléas peuvent devenir inapplicables et conduire à des résultats dont la performance n'est pas garantie.

### I. Modèles de l'incertain

[Rossi, 2003] distingue trois classes de modèles de l'incertain : (1) les modèles stochastiques, (2) les modèles par intervalles, et (3) les modèles par scénarios.

1. Les modèles stochastiques - Toutes les données sont modélisées par des variables aléatoires qu'il s'agisse des durées et des dates d'occurrence des événements, y compris pour les aléas. La probabilité d'occurrence des aléas est supposée connue. Ces modèles sont rarement utilisés pour trois raisons [Billaut *et al.*, 2005] : (1) la connaissance des données n'est pas toujours suffisante pour déduire les lois de probabilité associées, (2) les hypothèses d'indépendance entre les variables sont rarement justifiées : une perturbation entraîne des incertitudes sur d'autres variables, et (3) le modèle stochastique est souvent trop complexe pour être utilisable. Aussi, on considère généralement que la valeur d'une variable est maintenue à l'intérieur d'un ensemble discret « modèles par scénarios », ou continu « modèle par intervalle ».
2. Les modèles par intervalles - Dans le cas d'une variable continue, il est possible de travailler dans ces intervalles. La théorie des ensembles flous peut être utilisée ici [Billaut *et al.*, 2005]. L'arithmétique floue permet une modélisation et un traitement des quantités numériques imprécises. La mesure de possibilité remplace celle de probabilité lorsque le décideur doit évaluer l'occurrence d'un événement sur lequel il possède des données historiques peu nombreuses ou de mauvaise qualité. Ceci apparaît notamment dans les problèmes de décision multicritère ou de sûreté de fonctionnement, lorsque le décideur fait appel à des informations provenant de capteurs humains (jugement, avis d'expert).
3. Les modèles par scénarios - Dans le cas d'ensembles discrets, on obtient un nombre fini mais potentiellement important de scénarios. On affecte à chaque scénario une probabilité. Un scénario représente un jeu de données dont les valeurs numériques appartiennent aux intervalles définis. Une combinaison de scénarios est un ensemble de scénarios susceptibles de se réaliser dans l'ordre chronologique durant l'horizon de planification. L'ensemble des décisions possibles est décrit par un arbre de scénarios. [AAI. Etien, 2004] cherche à choisir le devis technologique de chaque site le plus flexible tout en ayant comme objectif la maximisation du profit de ventes des produits. On propose de résoudre le problème par le biais des



modèles par scénarios. On représente un scénario comme étant la spécification de la demande pour chaque produit, pour une période donnée de l'horizon de planification. Chaque scénario se réalise avec une probabilité donnée. Après avoir énuméré l'ensemble des combinaisons possibles de scénarios, on propose pour chaque combinaison de scénarios, un programme entier mixte avec une probabilité de la combinaison égale à 1. Toutefois, le nombre de combinaisons de scénarios peut être énorme. Le nombre de combinaisons est  $m^T$  avec  $m$  nombre de scénarios par période et  $T$  nombre de périodes. De ce fait, on limite le nombre de combinaisons choisies en recourant à la méthode A B C. On ajuste le profit obtenu pour une solution donnée par le risque qu'il encourt s'il ne prend pas en considération les autres risques. Le devis technologique sera pris en compte si le profit ajusté dépasse une certaine limite fixée par les décideurs.

Il faut noter que les données peuvent sortir de l'ensemble proposé. On peut travailler sur les valeurs moyennes [Billaut *et al.*, 2005] fréquemment utilisées par les chercheurs.

## II. Approches tenant compte des perturbations

[Billaut *et al.*, 2005] décrivent trois étapes dans le processus complet de résolution d'un problème d'ordonnancement avec incertitudes. Dans la première étape, on définit le problème statique qui comprend en plus des spécifications classiques en ordonnancement déterministe, la spécification des incertitudes et de leur modélisation. La deuxième étape consiste dans le calcul d'un ensemble de solutions par un algorithme statique. La dernière étape permet de calculer, lors de l'exécution, une seule solution par le biais d'un algorithme dynamique.

Nous classifions les approches qui se sont intéressées au contexte incertain en six classes :

1. Approches réactives : aucun ordonnancement prédictif n'est transmis à l'atelier et les décisions sont prises en temps réel [Bhaskaran et Pinedo, 1991]. L'occurrence des aléas se traduit par un ré-ordonnancement complet en ligne.
2. Approches prédictives-réactives : un ordonnancement prédictif est généré sans tenir compte des perturbations éventuelles et un algorithme réactif est utilisé pour maintenir l'admissibilité de cet ordonnancement et/ou améliorer ses performances en présence d'aléas [Church et Uzsoy, 1992 ; Yamamoto et Nof, 1985].
3. Approches proactives : elles consistent à chercher un ordonnancement prédictif minimisant l'effet des perturbations sur la performance de l'ordonnancement réalisé. Un ordonnancement prévisionnel est construit hors ligne mais en prenant en compte le contexte incertain, de sorte que l'ordonnancement prévisionnel peut rester valable pour certains types de perturbations [Rossi, 2003].
4. Approches basées sur les connaissances : elles fournissent un mécanisme de sélection d'une politique de réordonnancement parmi d'autres proposées. [Dutta, 1990] propose un mécanisme qui contrôle l'environnement et prend différents modes pour le réordonnancement suite à l'occurrence des différentes perturbations. [Baptiste et Favrel, 1993] proposent un schéma présentant les différentes alternatives des ordonnancements et permettant de développer un ordonnancement prédictif. En cas de nécessité d'un réordonnancement, un ordonnancement, solution du problème, est choisi parmi l'ensemble des ordonnancements proposés et est exécuté.

5. Approches basées sur la « prédictabilité » : il s'agit d'établir un ordonnancement prédictif qui minimise l'effet des perturbations sur les activités planifiées en maintenant la performance de l'industrie. La 'prédictabilité' a pour objectif de minimiser l'écart entre la performance réalisée de l'ordonnancement réalisé et la performance prévue de l'ordonnancement prédictif établi.
6. Approches mixtes : certaines approches proposées dans la littérature réunissent les différentes démarches présentées ci-dessus. L'approche proposée par [Artigues *et al.*, 2002] pour le pilotage d'un atelier réunit les approches proactives, prédictives-réactives et réactives. Elle repose sur la recherche d'un ordonnancement prédictif contenant de la flexibilité, qui peut permettre de préserver plus facilement des performances garanties en présence d'aléas et donc d'assurer une certaine robustesse de l'ordonnancement prédictif. Sur cette base, un système d'aide à la décision, pour organiser en temps réel l'exécution des opérations dans l'atelier, est défini rejoignant ainsi l'objectif des approches totalement réactives. Enfin, des procédures d'ordonnancement réactif sont proposées pour adapter l'ordonnancement prédictif quand cela devient nécessaire, suite à des aléas. La flexibilité de l'ordonnancement prédictif est obtenue en cherchant non pas un seul ordonnancement spécifiant un ordre total d'exécution des opérations sur les ressources, mais une famille d'ordonnements caractérisés par un ordre partiel d'exécution des opérations.

Les approches proactives et les approches basées sur la prédictabilité se basent sur la première étape du processus complet de résolution d'un problème d'ordonnancement avec incertitudes. On construit un seul ordonnancement de base. L'approche « basée sur les connaissances » considère les trois étapes.

Toutes ces approches cherchent à faire face à des perturbations qui sont parfois incontrôlables. On cherche ainsi à proposer une approche flexible, donc capable d'offrir des degrés de liberté, et robuste, c'est-à-dire pour laquelle la performance est peu sensible à l'incertitude des données et aux aléas.

### **III. Flexibilité**

La flexibilité s'exprime en ordonnancement à travers les possibles modifications que l'on peut apporter à l'ordonnancement calculé en statique (hors ligne), modifications entraînant une perte de performance acceptable [Ghota, 2002].

On distingue deux types de flexibilité, la flexibilité « offerte » et la flexibilité « choisie ». La flexibilité « offerte » est le degré de liberté laissé durant la phase d'exploitation de l'ordonnancement statique dans la première étape du processus complet d'ordonnancement dans le cas incertain décrit par [Billaut *et al.*, 2005]. Dans ce cas, on peut faire face aux perturbations par un ordonnancement statique sans recourir à un algorithme réactif. [Billaut *et al.*, 2005] définissent quatre formes de la flexibilité offerte :

1. La flexibilité sur les temps : c'est une flexibilité sur les dates de début d'exécution des opérations.
2. La flexibilité sur les ordres : c'est la flexibilité sur l'ordre d'exécution des opérations.

3. La flexibilité sur les affectations : on autorise de changer l'affectation d'une opération d'une ressource à une autre.
4. La flexibilité sur les modes d'exécution : on entend par modes d'exécution l'autorisation ou non de préemption, le changement de gamme, la modification du nombre de ressources nécessaires pour exécuter une opération, etc.

La flexibilité « choisie » consiste à choisir une solution adéquate au problème réel dans la deuxième étape du processus complet d'ordonnancement dans le cas incertain.

[Rossi, 2003] définit le coût de flexibilité d'une solution comme le coût qu'il faut payer pour transformer une solution calculée hors ligne en une solution en ligne, autrement dit le nombre de modifications apportées à la solution hors ligne.

#### **IV. La robustesse**

La robustesse est un critère qui permet de mesurer la capacité d'un ordonnancement prédictif à prendre en compte des aléas. Le but est de minimiser une mesure de déviation entre les performances envisagées et les performances réalisées. Le groupe [Flexibilité du Gotha, 2002] considère la robustesse comme étant la recherche de garanties de performances, en présence d'aléas, sur l'ordonnancement réalisé. [Rossi, 2003] définit la robustesse d'un ordonnancement comme étant la garantie de performances offerte par un ordonnancement en présence d'aléas possibles. Les solutions « robustes » sont les solutions dont les performances sont aussi peu sensibles aux aléas que possible.

On distingue la robustesse d'une solution et la robustesse d'une méthode. Une solution est robuste si sa performance est peu sensible à l'incertitude des données et aux aléas. La performance d'une solution englobe la valeur de cette solution relativement à un critère donné [Billau *et al.*, 2005]. [Roy, 2004] précise qu'il vaut mieux s'intéresser à l'ensemble des solutions qu'une méthode peut construire que d'une solution bien particulière. Une méthode est robuste si elle est performante dans tous les cas de figure. [Rossi, 2003] introduit deux critères de performance : la performance locale et la performance globale.

1. Performance locale : c'est la performance d'une solution, autrement dit, c'est la performance d'un ordonnancement en appliquant la méthode à un scénario bien déterminé. On parlera de la performance locale pour désigner la fonction objectif de la méthode appliquée à un scénario. Etant donné qu'une même méthode permet d'obtenir différents ordonnancements sur un ensemble de scénarios, on peut dire que la performance locale ne suffit pas à mesurer la performance d'une méthode.
2. Performance globale : par opposition à la fonction objectif qui est l'évaluation locale d'une méthode sur un scénario particulier, la performance globale s'intéresse à l'évaluation d'une méthode sur un ensemble de scénarios. [Rossi, 2003] propose les indicateurs suivants :
  - a. Le pire cas, qui correspond à la plus mauvaise performance locale mesurée par la fonction objectif obtenue en appliquant la méthode à tous les scénarios possibles.
  - b. La variabilité, qui correspond à la différence entre la plus grande et la plus petite valeur de la performance locale.

- c. La sensibilité, qui mesure le plus grand écart observé entre la performance locale et la meilleure performance que l'on aurait pu atteindre. L'évaluation de ce critère nécessite de disposer de la performance de l'ordonnancement optimal associé à chaque scénario.

## Annexe 2. Tests effectués dans l'approche réactive

La première étape de l'approche réactive consiste toujours au recours des plages banalisées. Le tableau ci-dessous présente un aperçu des résultats trouvés en appliquant le programme « utilisation des plages banalisées pour insertion de l'urgence ». Nous présentons par 1 : si une urgence est non affectée, 0 si oui. Les lignes présentent la date limite de l'urgence et type de l'urgence, les colonnes présentent les dates d'arrivée de l'urgence.

Tableau. Recours aux plages banalisées

		Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Groupe 1	Lundi (type T9)	0				
	Lundi T10	1				
	Mardi T9	0	1			
	Mardi T10	1	1			
	Mercredi T9	0	1	1		
	Mercredi T10	1	1	1		
	Jeudi T9	0	1	1	1	
	Jeudi T10	1	1	1	1	
	Vendredi T9	0	1	1	1	1
	Vendredi T10	1	1	1	1	1
Groupe 2	Lundi T11	1				
	Lundi T12	1				
	Mardi T11	1	1			
	Mardi T12	1	1			
	Mercredi T11	0	0	0		
	Mercredi T12	0	0	0		
	Jeudi T11	0	0	0	0	
	Jeudi T12	0	0	0	0	
	Vendredi T11	0	0	0	0	0
	Vendredi T12	0	0	0	0	0
Groupe 3	Lundi T13	1				
	Lundi T14	1				
	Mardi T13	1	1			
	Mardi T14	1	1			
	Mercredi T13	0	0	0		
	Mercredi T14	1	1	1		
	Jeudi T13	0	0	0	0	
	Jeudi T14	1	1	1	1	
	Vendredi T13	0	0	0	0	0
	Vendredi T14	0	0	0	0	0
Groupe 7	Lundi T13	0				
	Lundi T14	0				
	Mardi T13	0	0			
	Mardi T14	0	1			
	Mercredi T13	0	0	1		
	Mercredi T14	0	1	1		
	Jeudi T13	0	0	0	1	

**Annexe 2.** Tests effectués dans l'approche réactive

	Judi T14	0	0	0	0	
	Vendredi T13	0	0	0	1	1
	Vendredi T14	0	0	0	1	1

## Annexe 3. Approvisionnement dans le cas industriel

Des économies peuvent être réalisées par la coordination de l'approvisionnement de certains produits [Boctor *et al.*, 2004]. Le Joint Ship Replenishment (JRP) consiste à déterminer les produits à approvisionner conjointement pendant un nombre déterminé de périodes. Dans ce cas, deux types de coûts sont générés [Boctor *et al.*, 2004] : (1) le coût commun associé à l'approvisionnement, et (2) le coût individuel associé à chaque produit approvisionné.

Une revue de littérature permet de distinguer deux approches pour la résolution des problèmes de JRP dans l'industrie : (1) l'approche cyclique, et (2) l'approche chaîne d'approvisionnement. La première représente un cas particulier de la gestion calendaire. Chaque produit est approvisionné à un intervalle multiple d'un intervalle de base. Par contre, les décisions de l'approche chaîne d'approvisionnement s'expriment directement à travers un horaire d'activités pour la période de planification. Il s'agit donc de bien identifier ces activités puis de fixer un horizon de planification adéquat [Lapierre et Ruiz, 2003].

### I. Approche cyclique

L'approche cyclique, basée sur l'approche périodique, consiste à déterminer l'intervalle d'approvisionnement  $T_i$  de chaque produit  $i$ , qui est un multiple d'un intervalle de base  $T_0$ , autrement dit à déterminer un entier  $n_i$  tel que  $T_i = n_i T_0$  [Viswanathan, 1996]. Une politique est dite strictement cyclique s'il existe au moins un produit  $i$  qui est approvisionné régulièrement à  $T_0$ .

[Goyal, 1974] fixe deux objectifs à la fois : (1) minimiser la fonction de commande et (2) minimiser la fonction de stockage. Il s'agit de définir à la fois l'intervalle de base et les fréquences d'approvisionnement de chaque produit. La fonction obtenue est convexe en fixant une des variables de décision. La difficulté résulte dans la détermination simultanée des deux variables de décision : l'intervalle de base et le vecteur des fréquences. Goyal a développé une heuristique itérative. Dans la première étape, il suppose que tous les produits seront approvisionnés dans l'intervalle de base. En fixant le vecteur des fréquences, on peut déterminer dans la deuxième étape l'intervalle de base. En fixant cet intervalle de base, l'auteur propose dans la troisième étape de recalculer le vecteur des fréquences et ainsi de suite. Le test d'arrêt est la convergence vers un seul intervalle de base. L'approche proposée exige un nombre très large des énumérations. De ce fait [Viswanathan, 1996], propose un algorithme afin de limiter l'intervalle dans lequel se trouve la valeur optimale de l'intervalle de base.

[Qu *et al.*, 1995] s'intéressent à l'étude d'un système à multi-échelons dont la demande est stochastique. Ils ont intégré deux fonctions : transport et stockage. Il s'agit d'un entrepôt qui se réapprovisionne auprès de différents fournisseurs dispersés géographiquement, par l'intermédiaire d'un véhicule. L'objectif est de déterminer une stratégie de réapprovisionnement (règles de contrôle du stock et des modèles de routage) afin de minimiser le coût total. Les auteurs ont recouru aux politiques de réapprovisionnement ( $R_i$ ,  $T_i$ ). Il s'agit de déterminer d'une part  $T_i$  : multiple entier de  $T$  avec  $T$  est la fréquence de réapprovisionnement des produits de base les plus fréquemment réapprovisionnés et d'autre part,  $R_i$  : le niveau de remplissage des produits. Les variables de décision consistent à déterminer d'une part, pour chaque période, les fournisseurs à visiter, la distance à parcourir, les produits à réapprovisionner et d'autre part, la fréquence de base du réapprovisionnement,

la fréquence de réapprovisionnement de chaque produit, le niveau de remplissage de chaque produit. Afin de résoudre le problème, les auteurs ont décomposé le modèle en deux parties : problème de stockage et problème de transport. En résolvant le premier modèle, on détermine les fréquences d'approvisionnement. De ce fait, on peut savoir le parcours à faire dans chaque période. Ainsi, on peut résoudre le problème du transport.

Une politique bien particulière des politiques cycliques est le « power of two policies ». Elle consiste à approvisionner chaque produit  $i$  à un intervalle  $T_i$ , multiple d'un intervalle de base  $T$ , tel qu'il existe un entier  $m_i$  tel que  $T_i = 2m_i T$ . Le choix de cette politique est justifié par son implantation facile dans la vie pratique.

[Viswanathan et Mathur, 1997] s'intéressent à l'étude d'un système composé par un entrepôt central et des détaillants. Différents produits à taux constant sont demandés par les détaillants. Les stocks sont permis au niveau des détaillants et non au niveau de l'entrepôt central. Ces produits sont délivrés auprès des détaillants par des véhicules de capacité limitée. L'objectif est de trouver les quantités optimales à réapprovisionner afin de minimiser le coût de stockage et de transport pour un horizon infini. Les auteurs ont présenté une heuristique générant une SNJR (Stationary Nested Joint Replenishment) politique. La politique est stationnaire en ce sens que chaque article est réapprovisionné à intervalles réguliers dans le temps. « Nested » politique signifie que l'intervalle de réapprovisionnement de certains articles est plus grand que d'autres (multiple). L'idée est que pour les demandes non fréquentes et dont le coût de possession n'est pas élevé, il ne serait pas optimal de les réapprovisionner fréquemment, particulièrement pour les fournisseurs un peu distants. Quand ce produit est réapprovisionné pour un détaillant particulier, il serait plus évident de le réapprovisionner pour les autres détaillants en même temps. De ce fait, les auteurs ont opté pour une approche facile à implanter « power of two policies ».

## II. Approche chaîne d'approvisionnement

Il s'agit de considérer les différents maillons de la chaîne d'approvisionnement. On suit l'inventaire au niveau de chaque maillon et on ne commande qu'en cas de besoin tout en considérant les contraintes des maillons en aval. Ceci permet d'optimiser le coût de possession.

[Boctor *et al.*, 2004] ont supposé que la demande est dynamique. La demande de chaque produit au début de chaque période de l'horizon de planification est supposée connue. Le DJRP « Dynamique Joint Replenishment Problem » consiste à déterminer la quantité approvisionnée de chaque produit à chaque période tout en minimisant le coût d'approvisionnement et le coût de possession pour tout l'horizon de planification [Boctor *et al.*, 2004]. DJRP est un problème NP difficile [Arkine *et al.*, 1989]. Les algorithmes exacts ne peuvent être utilisés que pour la résolution des problèmes de taille modeste. Dans [Boctor *et al.*, 2004], les auteurs présentent et comparent les différentes heuristiques de résolution de DJRP : (1) heuristique « Fogarty and Barringer » FB [Fogarty et Barringer, 1987] ; (2) heuristique « greedy add » GA [Federguren et Tzur, 1994] ; (3) heuristique « greedy drop » GD ; (4) heuristique « extended Silver-Mea version 1 » SM1 [Silver et Meal, 1973] ; (5) heuristique « extended Silver-Mea version 2 » SM2 [Silver et Meal, 1973] ; (6) heuristique « extended part-period balancing version 1 » PB1 [De Mattis et Mendoza, 1968] ; heuristique « extended part-period balancing version 2 » PB2 [De Mattis et Mendoza, 1968] ; et (7) heuristique de perturbation PH [Boctor *et al.*, 2004]. On montre que PH appliquée après FB et l'heuristique de Silver-Kelle [Silver et Kelle, 1988] produit des solutions avec la plus petite déviation de l'optimale. FB est la plus simple à utiliser.



[Martel *et al.*, 2000] étudient les problèmes de multiples produits dont les demandes sont dynamiques avec un coût d'approvisionnement linéaire par morceaux. L'objectif est d'optimiser à la fois le coût de possession et le coût d'achat. Les auteurs ont formulé le problème par un programme à entiers mixtes. Afin de résoudre le problème, ils ont décomposé le problème en un ensemble de sous problèmes et ont recouru à la méthode de branch and bound.

Alvarez A.M., Centeno M.A., (1999a), "Enhancing Simulation Models for Emergency Rooms Using VBA," Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, G. W. Evans, December 5–8, 1999, Phoenix, Arizona, 1685 - 1693.

Alvarez A.M., Centeno M.A., Chow J., Kengskool K., (1999b), "A Simulation Based Tool for Managing E.R." to appear in the Proceedings of the 1999 International Conference on Industry, Engineering, and Management Systems.

Alvarez A.M., Centeno M.A., (2000) "Simulation-Based Decision Support for Emergency Rooms Systems", International Journal of Healthcare Technology and Management, Vol 2, Nos.5/6, pp 523-538.

Athanassopoulos A., Gounaris C., " Assessing the technical and allocative efficiency of hospital operations in Greece and its resources allocation implantations", European Journal of Operational Research, ed. Elsevier Sciences, vol 133, pp 416-431, 2001.

AS GHC., «Action Spécifique 63, Gestion Hospitalière Coopérante », Rapport final. CNRS département STIC, décembre 2003.

BenYoussef., L., (2000) « Résolution d'un problème d'ordonnancement dynamique d'un fournisseur dans un mode d'approvisionnement de type 'livraison synchrone' ». Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble.

Blake J.T., Michael W. Carter, (2002)"A goal programming approach to strategic resource allocation in acute care hospitals, European Journal of Operational Research, ed. Elsevier Sciences, vol 140, pp 541-561.

Blake, J.T., (2002) « Mount sinai hospital Uses integer programming to allocate operating room time ». Interfaces, Vol.32, No.2, pp. 63-73, 2002.

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.

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<sup>ère</sup> Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 2003. Lyon, janvier.

Bookbinder JH., Zarour FH., «Direct Product Profitability and retail shelf space allocation models», Journal of Business Logistics 2001. Vol 22. No 2, pp 183-208.

Boulin J.P. ; Beaulieu M. ; Landry S. Systèmes de réapprovisionnement des unités de soins : Description et implication organisationnelles. Cahier de recherche n°01-04 Février 2001.

Boyson S., Corsi T.M, Dresner M.E, Harrington L.H. Logistics and Extended Enterprise, New York, John Wiley & Sons, 1999, 203p.

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

Cettour-Baron, G., Violante, R., Thermens, J., Dubois, S., «De la logistique au Logipôle», *Gestion hospitalière*, n° 387, 1999, p. 427-436.

Colleti, J.J., «Health Care Reform and Hospital Supply Chain», *Hospital Materiel Management Quarterly*, vol. 15, n° 3, 1994, p. 28-35.

Chow, G., Heaver, T.D., «Logistics in the Canadian Health Care Industry», *Canadian Logistics Journal*, vol. 1, n° 1, 1994, p. 29-73.

Chandra P., Fisher M.L., (1994), coordination of production and distribution planning. *European Journal of Operational Research* 72, 503-517, 1994.

Chaabane S., Marcon E., Smolski N., Luquet B., Viale J.-P., 2002, « Stratégies de gestion de brancardage au bloc opératoire : utilisation de l'outil de simulation » Conférence Lyon DAQUAR (Démarche d'Assurance Qualité en Anesthésie/Réanimation), Lyon, 26 avril 2002.

Chen Y, Narita M, Tsuji M, Sa S., "A genetic algorithm approach to optimization for the radiological worker allocation problem", *Health Phys*, Vol 70(2), pp180–186, 1996.

Crostgens M., Doyle P., «A model for optimizing retail space allocation», *Management Science* 1981. Vol 28. No 8, pp 922-933.

Crostgens M., Doyle P., «A dynamic model for strategically allocating retail space», *Journal of the Operational Research Society* 1983. Vol 34. No 10, pp 1043-1051.

Combes, C. (1994). « Un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers » Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

Combes, C. (2001). « Méthodologie de modélisation par simulation des établissements de soins : une application au service de chirurgie ». Actes de MOSIM'01, Troyes, France

Cote M.J., " Patient flow and resources utilization " in an outpatient clinic ", *Journal of Socio-economics planning sciences*, ed. Elsevier Sciences, vol 33, pp 231-245, 1999.

Dacosta Carlo I., " The performance of material management in health care organizations ", *International journal of health planning and management*, 2002, 17, 69-87.

Davies, R., Johnson, D. et Farrow, S. (1975). « Planning patient care with a markov model ». *Opnl. Res. Quart*, 26, pp.599-607.

Davies, R. et Roderick, P. (1998). « Planning resources for renal services throughout UK using simulation ». *European Journal of Operational Research*, 105, pp. 285-295.

Delomenie P. and Yahiel M., Dépenses de médicaments à l'hôpital, La documentation française, Paris, 1996, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/964123700.shtml>.

Dexter, F. et Marcario, A. (1996). « Applications of information systems to operating room scheduling » *Anesthesiology*, Vol.86, N°6.

Dexter F., Tinker JH., (1995) « Analysis of strategies to decrease post-anesthesia care unit costs », *Anesthesiology*, 82:94-101,1995.

Dexter F., Penning D. and Traub RD., (2001) « Statistical Analysis by Monte-Carlo Simulation of the impact of Administrative and Medical Delays in discharge from the Postanesthesia Care Unit on Total Patient Care Hours », *Anesthesia & Analgesia*, 92(5), 1222-1225, 2001.

Dexter F., Epstein RH. and Penning DH., « Statistical analysis of Postanesthesia Care Unit staffing at a surgical Suite with Frequent Delays in Admission from OR. A Case Study », *Anesthesia & Analgesia*, 92:947-949, 2001.

Dexter F., Epstein R.H., "On-line Manual of Operating Room Management Decision Making", <http://www.anesth.uiowa.edu/faculty/ORManual.pdf>.

Dexter F. and Traub RD., (2002-a) « How to schedule surgical cases into specific operating rooms to maximize the efficiency of use of operating room time ». *Anesthesia & Analgesia*, 94:933-942, 2002.

Dexter F., Blake JT., Penning DH., Sloan B., Chung P. and Lubarsky DA., (2002-b) « Use of linear programming to estimate impact of changes in a hospital room time allocation on perioperative variables costs ». *Anesthesiology*, 96:718-724, 2002.

Dexter F., Blake JT. and Donald J., (2002-c) « Operating room managers' use of integer programming for assigning allocated block time to surgical groups: a case study ». *Anesthesia & Analgesia*, 94:143-148, 2002.

Dreze X., Hoch SJ., Purck ME., «Shelf management and space elasticity», *Journal of retailing*. 110108. Vol 80, No 8, pp 301-3210.

Druart S., C. Leroy, JC. Festinger, " Enquête : Logistique hospitalière, une démarche orientée patient ", *Stratégie Logistique*, 2002, 50, 75-98.

Dumas, M.B. (1984 ). « Simulation modelling for hospital bed planning». *Simulation*, Vol. 43, N°2, August, pp.69-78.

Dussauchoy, A. et Combes, C. (2003). « Loi bidimensionnelle des durées de différentes activités liées aux interventions chirurgicales ». *GISEH 03*

Gascon V., P. Michelon, " Scheduling the carriers of a hospital delivery service ", *Socio-economique planning sciences*, 1997, 31, 57-67.

Gordon T, Lyles, AP.S. et Fountain, J. (1988). Surgical unit time review : Resource utilization and management implications. *J.Med.Syst*; 12: 169-79.

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.

Groothuis S., Van Merode G.G., Hasman A., "Simulation as decision tool for capacity planning", *journal of computer methods and programs in biomedicine*, ed. Elsevier Sciences, vol 66, pp 139-151, 2001.

Hancock, 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.

Heus, K. (1996). « Gestion des plannings infirmiers, Application des techniques de programmation par contraintes ». Thèse de doctorat, Université Grenoble 1.

Huang, X.M. (1998). « Decision making support in reshaping hospital medical services » *Health Care Management Science*, 1, pp.165-173, October.

Hammami, S. (2002). « Comment gérer l'urgence dans les services de soins ». DEA de Génie Industriel, Institut polytechnique de Grenoble, Juillet.

HRP2, (2004). « Analyse de la bibliographie des travaux réalisés sur la modélisation et la simulation de flux ainsi que sur la gestion des ressources pour l'aide à la décision en dimensionnement et ré-ingénierie des plateaux techniques ». Rapport de recherche sur le projet HRP2. D6.1 Etat de l'art bibliographie Modélisation/Simulation.

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, T.(2000). « Potential effect of internal markets on hospital waiting time ». *European Journal of Operational Research*, 121, pp.467-475.

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 A., Ladet P. et Hadj Alouane A. B., (2003a). Une méthode pour la planification des admissions. Actes de MOSIM'03.

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

Jebali, A., (2001) « Étude des processus des soins, cas du service de chirurgie général : Beau séjour Hôpital Charles Nicole, Tunis ». Rapport interne, Laboratoire Automatique de Grenoble.

Jobin MH., Beaulieu M. et Boivin A., « Gérer la performance de la logistique hospitalière », *Logistique & Management* 2004.

Kao, E.P.C (1973). «A Semi-Markovien Population Model with application to Hospital Planning ». *IEEE Transaction on systems, man and cybernetics*, Vol. SMC-3, N 4, Juillet, pp. 327-336.

Kao, E.P.C, Tung, G.C. (1981). «Bed allocation in public health care delivery systems ». *Management Science*, Mai, pp.507-520.

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.

Kharraja S., Chabaane S. et Marcon E., « Évaluation de performances pour deux stratégies de programmation opératoire de bloc », Proceedings de CIFA'02, Nantes, France, 8-10 Juillet, 2002.

Kharraja S., Marcon E., « Construction automatique du plan directeur d'allocation des plages horaires », Proceedings de GISEH'03, Lyon, France, 17-18 janvier 2003.

Kim S. C., Horowitz I., Young K. K. et Buckley T.A., 1999. Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital. *European Journal of Operational Research*, 115, pp. 36-46.

Kim, S.C., Horowitz, I., Young, K.K. et Buckley, T.A., "Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit", *Journal of Operations Management* Vol 18, 427-443, 2000

Kim, S.C. et Horowitz, I. "Scheduling hospital services : the efficacy of elective-surgery quotes", *Omega The International Journal of Management Science* Vol 30, 335-346, 2002

Klassen, K.J. et Rohelder, T.R. (1996). « Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment » *Journal of operations Management*, 14, pp. 83-110.

Korabick, R.M. (1978). "A New Approach to Operational Efficiency for Chronic Renal Dialysis Program". *Winter Simulation Conference IEEE*, Highland, pp. 659-662.

Kowaleski J.C (1980)« Supply Distribution Options – A Next perspective », *Hospital Material Management Quarterly*, vol.2, n°2, 1980,p.81-97

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, 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.

Kharraja S. 2004, "outils d'aide à la planification et l'ordonnement dans les plateaux médico-techniques ». Thèse de doctorat, université Jean-Monnet, Octobre.

Kowaleski, J.C., Dickow, J.F., Hurwitz, M.R., Becker, G.E., Doro, G.R., «Managing Hospital Materials Management», Kowaski-Dickow Associates Inc.; 1993, 313p.

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.

L'équipe TRIAX conseil. « L'amélioration de la chaîne logistique hospitalière, une réponse à la pénurie grandissante de ressources dans le secteur de santé ». L'APPROVISIONNEUR, publié par l'Association Québécoise de la Logistique et de l'Approvisionnement du Secteur de Santé. Novembre 2003.

Lapierre S. D., A. Ruiz B., " L'approche chaîne d'approvisionnement pour organiser un service d'approvisionnement hospitalier ", 1ère conférence francophone en gestion et

ingénierie des systèmes hospitaliers – GISEH 2003, 17 et 18 janvier 2003, Hôpital de la Croix-Rousse, PRISMa INSA de Lyon, 2003.

Landry S., M. Beaulieu, Y. Boulay, H Rivard-Royer, " L'intégration de la chaîne logistique dans le secteur québécois des soins de santé – Diagnostic et avenues de solutions ", Groupe de recherche CHAINE, 1998.

Lafond N. et Landry S., « la planification des besoins matières pour gérer les stocks du bloc opératoire », Cahier de recherche n° 99-04, ISSN 1485-5496, HEC, Montréal.

Marcon, E., et Kharraja, S., (2002). « Survol des différentes stratégies de programmation opératoire ». Soumis à JESA

Marianov V., Daniel Serra D., "Hierarchical location–allocation models for congested systems ", European Journal of Operational Research, ed. Elsevier Sciences, vol 135, Issue 1, pp 195-208, 2001.

Marcon, E. et Kharraja, S. « Survol des différentes stratégies et modèles de programmation opératoire ». APII-RAIRO-JESA, Journal Européen des Systèmes Automatisés, Volume 37, n °5, p.687-716, 2003.

Marcon, E. et Kharraja, S. "Étude exploratoire sur la stratégie de dimensionnement d'une SSPI", IEEE Conférence Internationale Francophone d'Automatique (CIFA'2002), Nantes, du 8 au 10 juillet 2002.

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.

Oddi A., Cesta A., "Toward interactive scheduling systems for managing medical resources", Journal of Artificial Intelligence in Medicine, ed. Elsevier Sciences, vol 20, pp 113-138, 2000.

Podgorelec V, Kokol P., "Genetic algorithm based system for patient scheduling in highly constrained situations", Journal of Medecine Systems, Vol 21(6):417–427, 1997.

Perrin R.A., «Exchange Cart and Par Level Supply Distribution Systems: From Follows Function , Hospital Material Management». Quarterly, vol.15, n°3, 1994, p.63-76.

Rossi-Turck D., Wrincq J., Danhier A M., Menne A., « L'approvisionnement du disponible au bloc opératoire : couplage d'une approche MRP2 et d'une livraison en Kits », Logistique & Management 2004.

Rossetti M., A. Kumar, R. A. Felder, " Mobile robot simulation of clinical laboratory deliveries ", Proceedings of the 1998 Winter Simulation conference, 13 au 18 décembre 1998, Washington.

Ramis F.J., Palma G.L., Baesler F.F., " The use of simulation for process improvement at an ambulatory surgery center", Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, ed. B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros and M.W. Rohrer, 1401-1407.

Rapport sur le développement humain en Tunisie 2001, décembre 2002. PROGRAMME DES NATIONS-UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT

Ridge, J.C., Jones, S.K., Nielsen, M.S. et Shahani, A.K. "Capacity planning for intensive care units", *European journal of operational research* vol 105, 346-355, 1998

Rossetti M.D., Trzcinski G.F., Syverud S.A, (1999), "Emergency department simulation and determination of optimal attending physician staffing schedule" *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*,

Parent, J., Beaulieu, M., Landry, S., (2001) «Le système de chariots de cas : recension des écrits», *Cahier de recherche no 01-06*, , ISSN 1485-5496, École des Hautes Études Commerciales, Montréal.

Sampiere-Teissier N., « Enjeux et limites d'une amélioration des pratiques logistiques dans les hôpitaux publics français », *Logistique & Management* 2004

Sampiere.N et Bongiovanni.I, (2000) « Enjeux et perspectives des pratiques logistiques : pour une amélioration globale de la performance-le cas de l'hôpital public français » *RIRL* 2000

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.

Smolski N., Marcon E., Chaabane S., Luquet B., Viale J.-P., « Impact des stratégies de brancardage sur l'occupation de la SSPI : Étude par simulation », 44<sup>ème</sup> Congrès National d'Anesthésie et de Réanimation, 19-22 septembre 2002.

Swisher, J.P., Jacobson, S.H., Jun, J.B. et Balci, O. (2001). "Modelling and analysing a physician clinic environment using discrete-event (visual) simulation". *Computers & Operations Research*, 28, pp. 105-125.

Wadlle JP., Evers AS. and Piccirillo JF., (1998)« Postanesthesia Care Unit Length of Stay : Quantifying and Assessing Dependent Factors », *Anesthesia & Analgesia*, 87:623-633,1998.

Van Merode G. G., Hasman A., Derks J., Goldschmidt H.M.J., Shoenmaker B., Oosten M. "Decision Support for clinical laboratory capacity planning", *International Journal of Bio-Medical Computing*, 38, 75-87,1995.

Vassilacopoulos, G. (1985). « A simulation model for bed allocation to hospital inpatient departments ». *Simulation*, Vol.45, Novembre, pp.233-241.

Venkataraman R., Brusco M.J. "An integrated Analysis of Nurse and Scheduling Policies", *OMEGA International Journal of Management Science*, 24, 57-71, 1996.

Vissers, J.M.H. (1994). « Patient flow-based allocation of hospital resources ». Thèse, Eindhoven university of technology, Eindhoven.

Vissers Jan M.H., "Patient flow based allocation of hospital resources", *IMA J Math Appl Med Biol*, Sep-Dec 12:259-74, 1995

Vissers., J.M.H. (1998). « Patient flow-based allocation of inpatient resources: a case study ». *European Journal of Operational Research*, 105,pp.356-370.



Viswanathan, S. et K. Mathur, Integrating Routing and Inventory Decisions in One-Warehouse Multiretailer Multiproduct Distribution Systems, *Management Science*, 43, 1997, 294-312

Yang M., (2001) «An efficient algorithm to allocate shelf space». *Eur.J.Oper.Res* 2001. Vol 181, pp 108-111.

Zaki A.S., Cheng S.K., " A simulation model for the analysis and management of an emergency service", *Journal of Socio-economics planning sciences*, ed. Elsevier Sciences, vol 31, pp 173-189, 1997.