



HAL
open science

PROGRAMMATION INTEGREE DES INTERVENTIONS CHIRURGICALES ET DES ACTIVITES DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Michel Gourgand, Janvier Pensi, Alain Tanguy

► **To cite this version:**

Michel Gourgand, Janvier Pensi, Alain Tanguy. PROGRAMMATION INTEGREE DES INTERVENTIONS CHIRURGICALES ET DES ACTIVITES DE MAINTENANCE PREVENTIVE . MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nov 2014, Nancy, France. hal-01166668

HAL Id: hal-01166668

<https://hal.science/hal-01166668>

Submitted on 23 Jun 2015

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.

PROGRAMMATION INTEGREE DES INTERVENTIONS CHIRURGICALES ET DES ACTIVITES DE MAINTENANCE PREVENTIVE

M. GOURGAND¹, J. PENSI^{1,2}, A. TANGUY¹

¹LIMOS CNRS UMR 6158 – Université Blaise Pascal – Campus des Cézeaux
63173 Aubière Cedex, France

{gourgand, janvier, tanguy}@isima.fr

²Faculté de Génie Industriel, Université de Douala, Cameroun

RESUME : *Le bloc opératoire constitue un élément essentiel du plateau technique, poste stratégique de recettes et en même temps poste consommateur le plus important du budget d'un hôpital. Sa performance efficace passe par l'élaboration d'un programme opératoire optimal, lequel prend en compte non seulement des interventions chirurgicales à réaliser mais aussi des interventions de maintenance préventive. Pour la construction d'un tel programme, nous comparons différentes méthodes : la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE), les trois heuristiques classiques pour le Bin-Packing et le couplage de la première variante avec la descente stochastique. Nous comparons ensuite les résultats obtenus à partir d'un jeu de données générées.*

MOTS-CLES : *Bloc opératoire, planification opératoire, PLNE, heuristique.*

1 INTRODUCTION

La rénovation du centre hospitalier : Hôpital Laquintinie de Douala (HLD) au Cameroun a débuté depuis quelques mois dans le cadre d'un projet d'amélioration des conditions de travail en milieu hospitalier. Les dirigeants de l'hôpital qui comptent améliorer la qualité de leurs services ont en premier lieu jeté leur dévolu sur le bloc opératoire, considéré comme étant le centre de dépenses le plus important. Dans les systèmes hospitaliers, un nombre important de chercheurs ayant effectué les travaux sur le bloc opératoire sont unanimes : il consomme entre 10% et 15% du budget de l'hôpital (Macario et al., 1995; Chaabane et al., 2008) et ainsi il représente l'un des principaux postes de dépenses (Spangler et al., 2004; Denton et al., 2007). Il est un élément essentiel du plateau technique d'un hôpital, en raison de sa haute technicité et de l'investissement qu'il représente, de l'importance des ressources humaines qu'il mobilise, des enjeux en termes de sécurité des patients, de son importance considérable pour l'attractivité de l'établissement et de sa capacité à accueillir les urgences (Hanset, 2010). En dehors des activités de soins réalisées par les médecins et les autres personnels soignants, on retrouve au sein de l'hôpital un secteur logistique et un secteur administratif. (Moisdon et al., 1999) donnent un classement de ces unités de l'hôpital en cinq secteurs, que (Kharraja, 2003) a regroupé en deux catégories : d'une part les secteurs liés à la trajectoire du patient (les unités de soins, les services de consultation, le plateau technique) et d'autre part les secteurs d'appoint et de support (le secteur logistique, le secteur administratif). Le bloc opératoire est une communauté composite dans laquelle s'exprime une multitude de professions aux logiques et aux cultures diverses, ce qui crée une très forte discordance entre les objectifs poursuivis par les

différents acteurs et engendre des difficultés qui peuvent paralyser l'organisation. (Fei, 2006) subdivise le processus opératoire en trois phases :

- La phase préopératoire, réservée aux consultations chirurgicales et anesthésiques. Elle part de la prise en charge du patient jusqu'à la veille de l'acte chirurgical.
- La phase peropératoire qui prend en compte la préparation du patient et l'intervention chirurgicale. C'est le jour de l'intervention, où l'anesthésiste intervient et ensuite, à l'aide d'un brancard le patient est transféré dans la salle d'opération.
- La phase postopératoire commence avec le réveil du patient. De cette salle de réveil, le patient pourra donc être conduit soit à la salle de soins intensifs, soit dans une unité d'hospitalisation, soit à la morgue.

Les problèmes que l'on rencontre dans la gestion des blocs opératoires sont pour la plupart connus, nous pouvons citer : la variabilité du temps opératoire, l'annulation des interventions programmées, la sous-utilisation des salles opératoires, le dépassement des heures normales de travail, la gestion des urgences, la non disponibilité des ressources matérielles ou humaines, le dimensionnement du bloc opératoire etc. Pour remédier à certaines de ces préoccupations, des chercheurs ont proposé des outils d'aide à la décision basés sur la modélisation, la simulation et l'optimisation. Dans cet article, nous nous intéressons au cas de l'HLD. L'un de ses blocs opératoires fait l'objet de notre étude. La gestion du bloc opératoire doit concilier différentes activités, prendre en compte un certain nombre de contraintes, comme le programme de maintenance préventive et/ou curative des équipements présents dans les salles d'opération, pour être efficace. Notre contribution vise à aider le responsable du bloc à améliorer la construction du Programme Directeur des Interventions Chirurgicales (PDIC). Celui-ci intégrera les tâches de maintenance

préventive (IM) et les interventions chirurgicales (IC) prévues.

Nous nous préoccupons des phases préopératoires (pour l'affectation des patients et des tâches de maintenance dans les salles d'opération) et peropératoire (pour l'ordonnancement journalier des différentes interventions dans lesdites salles, ainsi que l'affectation des chirurgiens). Notre article est structuré de la façon suivante : la section 2 est consacrée à l'état de l'art. La section 3 présente le problème à traiter. La section 4 est consacrée à la démarche proposée. La section 5 présentera la mise en œuvre et les résultats. La conclusion et les perspectives suivront à la section 6.

2 ETAT DE L'ART

Notre recherche littéraire s'est intéressée aux deux problématiques suivantes : la planification opératoire et la maintenance des équipements. Concernant la première problématique, sa résolution n'est pas du tout aisée, vu le nombre de contraintes à prendre en considération et les différents corps de métier qui y interviennent.

Dans les soixante dernières années, une littérature abondante sur la gestion des blocs opératoires s'est développée, comme le prouvent (Cardoen B. et Demeulemeester E., 2010) dans leur recherche littéraire. On constate que des chercheurs se sont intéressés à l'amélioration du planning du bloc opératoire, d'autres ont jeté leur dévolu sur la construction du planning en intégrant une ou plusieurs contraintes pouvant perturber le fonctionnement du bloc opératoire. D'autres encore ont suggéré que soient prises en compte les ressources externes à l'hôpital, provenant de prestataires, mais nécessaires pour la bonne exécution du planning élaboré.

On trouve un nombre important d'approches traitant la problématique de la planification et de l'ordonnancement des interventions chirurgicales. (Marcon et al., 2001a, 2001b) proposent un modèle de programmation linéaire en nombre entiers résolu par CPLEX avec pour objectif de maximiser le bénéfice journalier, tout comme (Lovejoy et Li, 2002). (Guinet et Chaabane, 2003) présentent l'extension de la méthode hongroise (ou algorithme de Kühn) pour minimiser le coût du temps d'attente des patients. (Kharraja et al., 2004) reviennent avec un modèle mathématique résolu par solveur (problème de sac à dos multiple) pour minimiser l'écart entre l'offre de vacations et la demande des chirurgiens. (Jebali et al., 2006) travaillent avec des modèles mathématiques résolus par un programme linéaire à variables mixtes pour minimiser le coût de la sur-utilisation ou sous-utilisation des salles d'opération et le temps d'attente du patient, quand (Kharraja et al., 2006) utilisent le même modèle mais avec pour objectif de minimiser l'écart entre l'offre et la demande hebdomadaire de l'ensemble des chirurgiens. A l'aide d'un programme linéaire, (Hammami et al., 2007) minimisent le nombre de plages allouées à chaque chirurgien et maximisent le nombre

d'interventions. (Iser et al., 2008) préfèrent des heuristiques, après avoir identifié le problème comme un Flow-Shop à deux étages, et minimisent le coût de dépassement des salles d'opération en heures de travail des équipes de salles de réveil. (Hans et al., 2008) utilisent les heuristiques pour un problème semblable à celui du sac à dos, et une méta-heuristique couplée avec un modèle de simulation de Monte-Carlo pour maximiser le taux d'occupation des salles et minimiser le débordement. (Chaabane et al., 2008) comparent deux méthodes : un programme linéaire mixte résolu par solveur et une heuristique basée sur la méthode hongroise, pour minimiser la différence entre les disponibilités des salles et la demande des spécialités à l'aide de la stratégie de la programmation ouverte, et ensuite pour minimiser le coût par patient avec la programmation par allocation des plages. (Lamiri et al., 2008) proposent une méthode de planification des interventions (uniquement la phase d'affectation des interventions aux différents jours du planning) tenant compte des urgences. Ils modélisent les urgences à l'aide d'une variable aléatoire à inclure au planning tandis que les temps opératoires des cas électifs sont, eux, déterministes. Ils combinent simulation de Monte Carlo et programmation linéaire en nombres entiers pour minimiser les coûts liés aux heures supplémentaires et des coûts liés à la date d'intervention. (Aniba S. et Jebali A., 2011) proposent un modèle stochastique de programmation linéaire mixte pour fixer les interventions programmées à réaliser par salle et par jour. (Agnētis et al., 2012) préfèrent une programmation linéaire en nombres entiers pour la construction d'un programme opératoire stable et flexible avec pour objectif de maximiser l'utilisation des salles d'opération sans les heures supplémentaires et éviter l'annulation des interventions programmées. (Tancrez et al., 2013) proposent une approche analytique pour évaluer l'impact des aléas dans le bloc opératoire à l'aide de chaînes de Markov, avec pour objectif de déterminer le nombre d'opérations qui doivent être planifiées, afin de limiter les heures supplémentaires éventuelles. (Franke et al., 2013) réalisent un algorithme de prévision pour déterminer le temps restant d'intervention dans des salles d'opération, afin d'aider le chirurgien et le gestionnaire du bloc à mieux gérer leurs temps respectifs. (Kodali et al., 2014) ont proposé le temps de rotation : temps compris entre la sortie du patient de la salle d'opération et l'entrée du prochain patient dans la même salle d'opération, comme indicateur de performance. Ils ont collecté les données relatives au temps de rotation, afin de procéder aux analyses. L'utilisation des stratégies de performance a permis de déterminer comment des événements divers et des facteurs organisationnels ont créé un environnement propice au changement.

Par ailleurs, il existe des techniques de programmation opératoire centrées sur les salles d'opération. Nous avons distingué trois types de programmation :

- La programmation ouverte qui propose pour chaque période, un planning exempt de toutes contraintes de placement, le premier arrivé étant le premier servi.

- La programmation par allocation préalable des plages horaires aux chirurgiens ou aux unités médicales chirurgicales qui impose un squelette de programme opératoire hebdomadaire, composé de plages horaires sous forme de blocs à l'intérieur desquels les chirurgiens ou les différents services chirurgicaux placent à leur convenance, leurs potentielles interventions.

- La programmation par allocation préalable des plages avec processus d'ajustement qui consiste à allouer les plages non affectées à d'autres chirurgiens.

Concernant la seconde problématique, les gestionnaires des systèmes industriels sont unanimes : le zéro défaut ou le risque zéro n'existe malheureusement pas dans leurs activités, à cause de l'occurrence de défaillances humaines ou matérielles. Toutefois, pour tenter de réduire les risques à un niveau le plus faible possible et acceptable, des méthodes, des techniques et des outils scientifiques ont été développés dès le début du XX^{ème} siècle pour évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques, lorsqu'elles se produisent. Dans un grand nombre d'applications industrielles, une demande croissante est apparue en matière de remplacement des politiques de maintenance curative par des stratégies de maintenance préventive. Cette mutation depuis une situation où l'on « subit les pannes ou les défaillances » jusqu'à une situation où l'on « maîtrise les pannes ou les défaillances », nécessite des moyens technologiques ainsi que la connaissance de techniques d'analyse appropriées. La fonction maintenance, dont la vocation est d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est maintenant une des fonctions stratégiques dans les entreprises. De manière plus pragmatique, un système de production n'est performant que si sa finalité, c'est-à-dire les objectifs qui lui sont attribués, les résultats qu'il fournit et les moyens qu'il met en œuvre, sont en parfaite cohérence (Bescos et al., 1995). Un nombre important de chercheurs se sont intéressés à la problématique de la maintenance industrielle, les uns proposant des programmes de maintenance couplés avec ceux de la production, d'autres proposant une maintenance intégrée à la gestion de l'environnement. (Vri-gnat et al., 2009) utilisent des chaînes de Markov cachées pour une évaluation des activités de maintenance dans le cadre d'un processus industriel pour l'agroalimentaire, avec objectif de prévoir une future panne à la suite d'événements particuliers. Une programmation mathématique non linéaire est proposée par (Aoudjit, 2010), comme nouvelle méthodologie de planification de la maintenance avec pour objectif de permettre aux décideurs de maîtriser le cycle de vie des équipements. (Boschian-Campaner et Stock, 2010) se servent d'une métaheuristique pour construire une matrice de compétences avec pour objectif de former le personnel et d'ordonner les tâches de maintenance. (Chouikhi et al., 2010) ont proposé une approche ana-

lytique associée à un logiciel de calcul formel pour le développement et l'optimisation d'une politique de maintenance faisant le couplage entre la gestion de l'environnement et la maintenance traditionnelle avec pour objectif de limiter des gaz à effet de serre. (Ayadi et al., 2011) suggèrent plutôt une approche de modélisation par réseaux bayésiens dynamiques pour l'optimisation de la maintenance préventive, avec pour objectifs d'une part de mettre en œuvre une fonction de coût permettant d'évaluer des politiques de maintenance, et d'autre part la mise en œuvre d'un algorithme d'optimisation de type génétique en vue de retenir la politique de maintenance préventive optimale. (Fitouhi, 2011) a utilisé des modèles mathématiques résolus avec LINGO et MATLAB, pour optimiser la planification intégrée de la maintenance préventive et de la production des systèmes multi-états, avec pour objectifs de minimiser le coût total de maintenance et de maximiser les mesures de fiabilité en respectant les contraintes budgétaires. (Hedjazi et Zidani, 2012) proposent une approche statique et dynamique pour un problème multicritères d'affectation et d'ordonnement des activités. L'heuristique proposée traite le problème d'ordonnement dynamique au fur et à mesure des détections des pannes qui entraînent de nouvelles tâches, avec pour objectifs de minimiser deux fonctions objectives : la somme pondérée des retards ainsi que le nombre des tâches en retard.

Chacun de ces différents types de programmation est exposé aux aléas. Dans l'introduction, nous avons évoqué un certain nombre de problèmes pouvant perturber le PDIC. Les perturbations généralement traitées dans le milieu industriel sont les commandes urgentes, les pannes de machines, l'imprécision dans les temps opératoires prévus et la rupture de stock.

La littérature regorge d'articles traitant de problèmes d'optimisation du bloc opératoire présentant la complexité de la gestion de ce dernier. Tous ces problèmes ont leurs spécificités, leurs contraintes, leurs variables de décision, leurs hypothèses, leurs méthodes de résolution. Il faut cependant constater que peu d'auteurs ont pris en compte la contrainte concernant les pannes des équipements présents dans les salles d'opération. On peut considérer la panne comme un aléa, au même titre que l'arrivée d'une urgence. Mais, une panne qui survient pendant l'acte chirurgical est bien différente de l'arrivée d'une urgence, car la panne interrompt le processus chirurgical du patient anesthésié. La non prise en compte d'un tel aléa dans la planification peut engendrer: un non-respect de l'heure de fermeture du bloc opératoire, un prolongement du temps d'attente des autres patients programmés dans la même salle et peut-être l'annulation ou le report de certaines IC planifiées. En plus, au vu de la littérature exploitée, on ne retrouve pas des travaux traitant simultanément les problématiques de planification opératoire et de planification de la maintenance préventive et/ou curative dans les systèmes hospitaliers. Cependant, dans les systèmes industriels, le programme directeur de production ne saurait être conçu sans la prise en compte du

programme de maintenance des moyens de production. Cette réalité du milieu industriel peut servir de modèle aux systèmes hospitaliers.

3 PROBLEME A TRAITER

Nous nous intéressons à la gestion d'un bloc opératoire composé d'un nombre fixé de salles nécessaires à la réalisation des opérations chirurgicales. En collaboration avec l'HLD, nous élaborons des jeux d'essai obtenus à partir d'historiques et des données générées pour évaluer la pertinence de nos travaux. Parlant de notre hôpital cible, il comprend trois blocs opératoires :

- un bloc gynéco-obstétrique ;
- un bloc des urgences ;
- un bloc opératoire.

Ce dernier est l'objet de notre étude. Il est ouvert cinq jours sur sept (sauf les urgences), 8 heures par jour. Il peut arriver que la durée d'une intervention déborde l'heure de fermeture. Il comprend six salles :

- S1 : chirurgie viscérale et urologie (chirurgie générale)
- S2 : chirurgie orthopédique (salle dédiée)
- S3 : chirurgie orthopédique et neurologie
- S4 : chirurgie endoscopique (salle polyvalente)
- S5 : urgences viscérales
- S6 : urgences orthopédiques et traumatologiques.

Les salles S5 et S6 sont réservées au service des urgences et peuvent être planifiées pour d'autres patients mais les urgences restent prioritaires. Elles sont ouvertes 24 heures sur 24. La présence de ces deux dernières salles, nous amène à ne pas considérer l'« arrivée des urgences » comme une contrainte dans cet article.

Ce bloc opératoire a à sa tête un responsable qui est chargé de sa gestion quotidienne et préside le staff du bloc, réuni chaque vendredi pour élaborer le programme opératoire de la semaine suivante. L'horizon de planification ne dépasse pas la semaine. Dans la semaine, chaque chirurgien a son jour de repos supplémentaire. Le bloc opératoire dispose de 2 chirurgiens pour la chirurgie viscérale, 2 urologues, 3 orthopédistes, 1 neurochirurgien vacataire (ne faisant pas partie du personnel de l'hôpital). Les orthopédistes interviennent de préférence dans les salles S2, S3 et S6. Les urologues interviennent en S1. La chirurgie viscérale s'effectue en salles S1 et S5. La salle S4 est polyvalente, elle peut être utilisée par tout type de chirurgie. Les salles d'opération sont dotées d'équipements fixes et d'équipements mobiles.

Chaque salle d'opération est dotée d'un personnel composé de :

- 2 infirmiers (IF),
- 1 instrumentiste (IT),
- 1 panseur (PA),
- 1 infirmier anesthésiste (IA),
- 1 chef d'équipe (major) qui est le coordonnateur (CO). Si la salle n'est pas en service, ce personnel est mis à la disposition d'autres unités. Suivant

l'intervention chirurgicale, ce groupe de personnes est complété par :

- le chirurgien (CH),
- l'assistant du chirurgien (AC).

Le bloc opératoire compte 2 médecins anesthésistes (MA). Chacun d'eux couvre plusieurs salles. Le nombre d'IC par salle et par jour n'excède pas 4, sauf pour les salles des urgences. A la fin d'une IC, l'ensemble du personnel dispose d'une période de repos de 30 minutes. Le temps de décontamination moyen est de 25 minutes. La durée de repos du chirurgien peut être beaucoup plus courte (minimum quelques minutes s'il doit intervenir immédiatement après dans une autre salle). Pour la réalisation de l'ordonnancement journalier dans les salles d'opération, certains critères sont appliqués :

- Critères médicaux ou cliniques
 - Priorité accordée aux patients diabétiques et aux enfants ;
 - Niveau de gravité de l'état du patient ;
 - Degré de propreté de l'acte chirurgical (type d'intervention).

- Critère de disponibilité de matériels

- Cas du fixateur externe en orthopédie.

Les actes chirurgicaux devant produire beaucoup de déchets sont très souvent programmés en dernier lieu par salle et par jour.

Pour les parties prenantes à la programmation du bloc, la durée opératoire varie en fonction :

- du type d'intervention ;
- de l'expérience du chirurgien ;
- de l'expérience et de l'ancienneté des infirmiers ;
- de la capacité des membres à travailler en équipe.

En orthopédie, la durée moyenne d'une IC est de 2h30, mais cette durée se situe entre 1h30 et 2h pour les autres cas.

4 DEMARCHE

Nous travaillons sur la base des hypothèses suivantes :

- Utilisation d'une stratégie de programmation ouverte ;
- Les services connexes : salles d'induction, salles de surveillance post-intervention, unités d'hospitalisation sont bien dimensionnées ;
- Le PDIC est centré uniquement sur les salles d'opération ;
- Le jour de l'intervention est communiqué à chaque patient ;
- Il y a possibilité de reporter une IC planifiée ;
- On ne considère pas de priorité sur les patients pour ordonnancer les IC par salle et par jour ;
- Les équipements fixes dans les salles d'opération sont les seuls pris en considération ;
- L'arrivée des urgences n'est pas censée perturber le planning ;
- La durée d'une IC est estimée ;

L'approche que nous proposons se décline sur le niveau de planification pour que le PDIC soit plus effi-

pace. Elle peut aussi être utilisée au niveau tactique. Elle a recourt à une heuristique qui comprend trois variantes portant sur les priorités de remplissage des salles d'opération, la détermination du temps d'occupation et du temps libre restant des salles d'opération. Une IM pouvant être planifiée à l'heure d'ouverture ou bien juste avant la fermeture ou encore en mi-journée. La journée d'utilisation médicale d'une salle peut être découpée en une ou deux périodes plus courtes. Le problème de planification est résolu par des heuristiques adaptées au problème du Bin Packing, par un modèle de la programmation linéaire en nombre entiers et le couplage d'une heuristique avec une descente stochastique.

La démarche est présentée en figure 1.

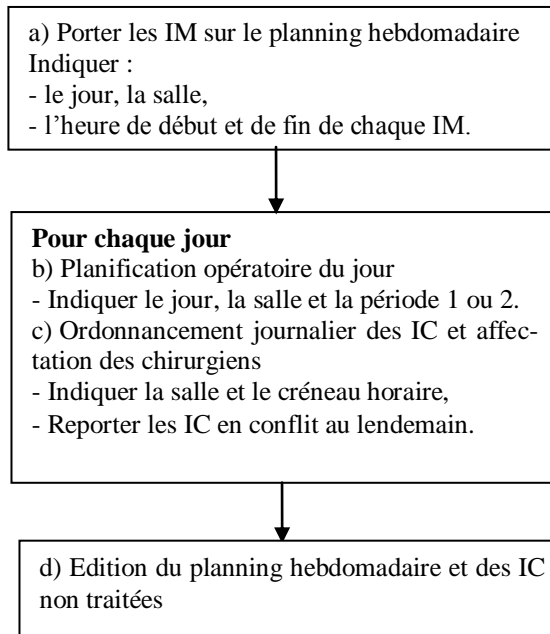


Figure 1. Démarche proposée

La problématique de la planification a été abordée et résolue avec différentes approches. L'affectation des IM et des IC dans les salles constitue un problème similaire à celui du Bin Packing. Par la suite, l'affectation des chirurgiens dans les salles introduit un problème d'optimisation combinatoire, il s'agit d'un problème NP-complet. Pour résoudre ces problèmes, nous implantons d'abord les algorithmes Next Fit (NF), First Fit (FF) et Best Fit (BF) du Bin Packing pour des salles polyvalentes. Ensuite, nous considérons une descente stochastique pour obtenir un meilleur ordonnancement des IC. L'affectation des chirurgiens sera effectuée jour après jour.

En section suivante, des diagrammes UML présentent de manière détaillée un ensemble de données, suivies des variables et contraintes des trois heuristiques, ainsi que leur description.

4.1 Les différents diagrammes UML

La figure 2 présente les différentes ressources médicales composant une équipe chirurgicale.

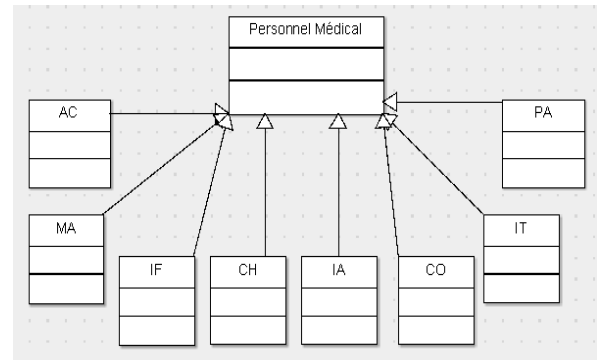


Figure 2. Diagramme du personnel médical

La figure 3 présente la composition du bloc opératoire, la composition des membres de l'équipe appartenant à une salle, ainsi que les potentiels intervenants sur les IM.

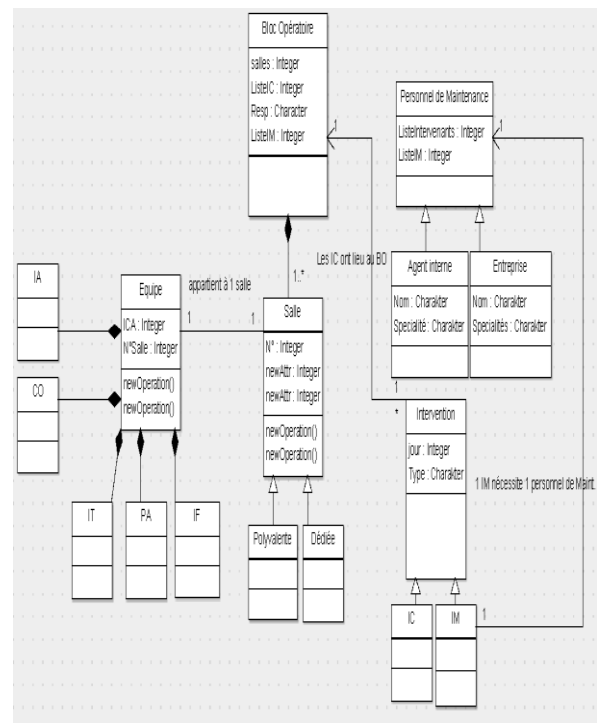


Figure 3. Diagramme du Bloc opératoire

La figure 4 présente le diagramme du planning de la semaine, le planning du jour ainsi que celui de la salle. Elle met en évidence les relations entre la salle, l'IM, l'IC, le chirurgien, son assistant et le médecin anesthésiste.

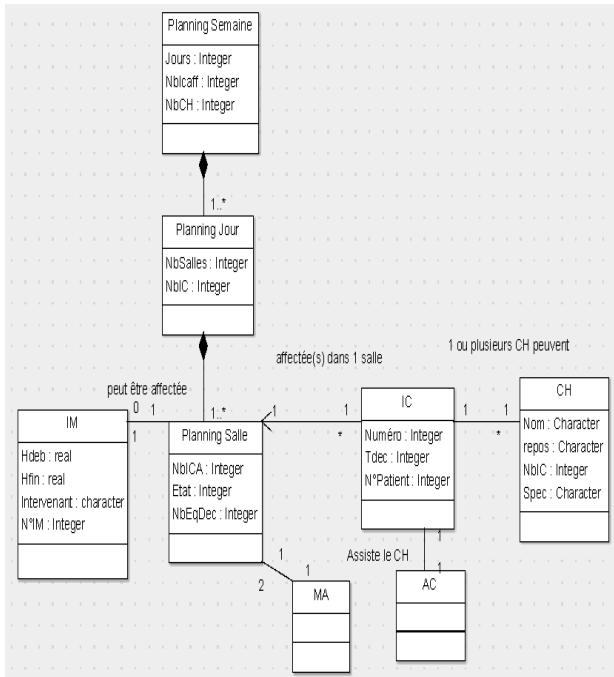


Figure 4. Diagramme du planning de la semaine

4.2 Périodes d'utilisation des salles

La figure 5 présente la notion de période d'utilisation des salles d'opération. Une IM prévue dans une salle un jour donné, divise la durée d'utilisation de cette dernière en deux périodes, en fonction de la situation de l'IM. Lorsque l'IM est placée à l'heure d'ouverture (HO), par exemple la salle S1 a sa période P1 de durée nulle alors que sa période P2 a une durée correspondant à la différence entre la durée d'ouverture (Q) de la salle et l'heure de fin (HF) de l'IM placée.

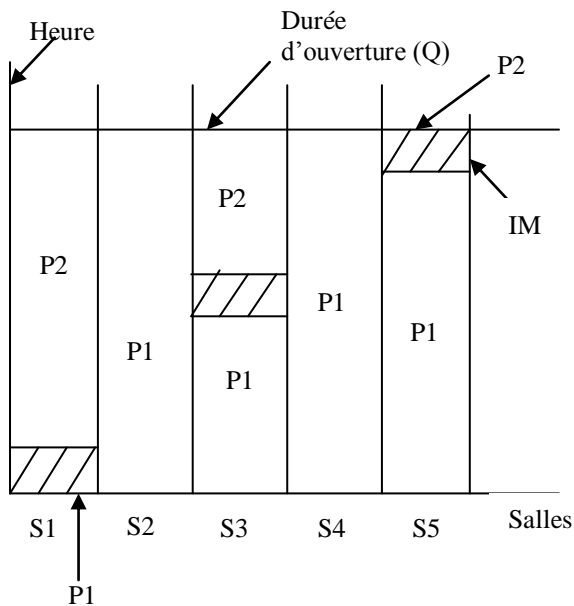


Figure 5. Affectation des IM dans les salles

Par analogie, pour la salle S5, la durée de P2 est nulle et celle de P1 correspond à la différence entre l'heure de début (HD) de l'IM placée et HO de la salle. La salle S3 a une IM placée à mi-journée. La durée de sa période P1 est la différence entre HD de l'IM et HO de la salle, alors que celle de P2 est la différence entre Q et l'HF de l'IM. Une salle sans IM un jour donné (cas de S2) n'a qu'une seule période. Ainsi, le nombre de salle, jour, période n'est pas constant sur l'horizon de planification. Une salle peut être utilisée seulement pendant une seule période un jour donné avec la présence d'une IM à mi-journée. Nous considérons NSJ comme étant le nombre de couples (salles, jour) disponibles sur l'horizon. NSJP comme étant le nombre total de triplets (salle, jour, période de durée non nulle). NSJU est donc le nombre de couples (salles, jour) utilisés et NSJUP le nombre de triplets utilisés.

Le principe des heuristiques consiste à affecter les IM puis les IC en respectant un certain nombre de contraintes comme la durée de l'horizon de planification. Nous considérons les variantes suivantes :

- **L'heuristique 1** consiste à affecter les IC par ordre d'arrivée, suivant l'ordre croissant des salles compatibles et des jours en respectant la durée des périodes d'utilisation des salles (**First Fit Decreasing**).
- **L'heuristique 2** procède d'abord au tri des IC par ordre décroissant de la durée puis à leur affectation comme en heuristique 1. La priorité ici est accordée aux IC de longue durée (**Next Fit Decreasing**).
- **L'heuristique 3** traite les IC triées par ordre décroissant de durée. Par jour et avant chaque affectation, la liste des salles est maintenue triée en ordre croissant sur la durée restante des périodes d'utilisation. L'affectation d'une IC s'effectue dans la période d'une salle compatible, ayant la plus petite durée de disponibilité (**Best Fit**).

4.3 Formalisation mathématique

Nous présentons un seul modèle mathématique, car les différentes formalisations mathématiques du problème du Bin-Packing à une dimension sont similaires.

Données

- NS nombre de salles
- NJ nombre de jours ouvrables
- NSJ nombre de salles-jours
- NSJU nombre de salles-jours utilisés
- NSJUP nombre de salles-jours utilisés par période
- NC nombre d'interventions chirurgicales
- NM nombre d'interventions de maintenance
- DC_c durée de l' IC c (décontamination incluse)
- DM_m durée de l'IM m (nettoyage inclus)
- Q durée d'ouverture de la salle (8h)
- c indice des interventions chirurgicales
- s indice des salles d'opération
- j indice des jours ouvrables de l'horizon
- p indice de période
- m indice des interventions de maintenance

$$z_{m,s,j} = \begin{cases} 1 & \text{si IM } m \text{ est affectée le jour } j \\ & \text{en salle } s \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Variable

$$x_{c,s,j,p} = \begin{cases} 1 & \text{si IC } c \text{ est affectée le jour } j \text{ en} \\ & \text{salle } s \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

Contraintes

- Respect de la durée disponible des périodes

$$\sum_{c=1}^{NC} DC_c * x_{c,s,j,p} \leq Q(s,j,p) \quad (2)$$

$s = 1 \dots NS, j = 1 \dots NJ, p = 1, 2$

- Une IC c n'est affectée qu'à une seule période dans une seule salle un seul jour

$$\sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 x_{c,s,j,p} \leq 1 \quad (3)$$

$c = 1 \dots Nc$

Vérificateur du paramètre

- Une IM m n'est affectée qu'à une seule salle et à un seul jour

$$\sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} z_{m,s,j} = 1 \quad (4)$$

$m = 1 \dots NM$

Contraintes d'intégrité

$$x_{c,s,j,p}, z_{m,s,j} \in \{0, 1\}; \quad (5)$$

$c = 1 \dots NC, s = 1 \dots NS, j = 1 \dots NJ, m = 1 \dots NM, p = 1, 2$

Fonctions multi objectifs

- Le premier objectif est de minimiser le nombre d'IC non affectées

$$NICNP = NC - \sum_{c=1}^{NC} \sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 x_{c,s,j,p} \quad (6)$$

Deux fonctions booléennes

Le triplet (salle, jour, période) est utilisé

$$y_{s,j,p} = (\sum_{c=1}^{NC} x_{c,s,j,p} > 0) \quad (7)$$

$s = 1 \dots NS, j = 1 \dots NJ, p = 1, 2$

La salle s est utilisée le jour j

$$y'_{s,j} = (\sum_{c=1}^{NC} \sum_{p=1}^2 x_{c,s,j,p} > 0) \quad (8)$$

- Le second objectif est de minimiser le nombre de triplets (salles, jour, période) utilisés sur l'horizon

$$NSJUP = \sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 y_{s,j,p} \quad (9)$$

Ou de minimiser le nombre de couples (salle, jour) utilisés

$$NSJU = \sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} y'_{s,j} \quad (10)$$

- Le troisième objectif est de minimiser la durée minimum d'occupation de (salle, jour, période) (DMO) qui est la durée non nulle, utilisée par les IC

$$DMO = \min_{s,j,p} (\sum_{c=1}^{NC} (x_{c,s,j,p} * DC_c) + (1 - y_{s,j,p}) * 10) \quad (11)$$

Ou la durée minimum d'occupation des salles par jour

$$DMO' = \min_{s,j} (\sum_{c=1}^{NC} \sum_{p=1}^2 (x_{c,s,j,p} * DC_c) + (1 - y'_{s,j}) * 10) \quad (12)$$

L'objectif multicritère OMC est une agrégation, avec priorité décroissante, des trois précédents.

$$OMC = (NICNP * 100 + NSJUP) * 10 + DMO \quad (13)$$

De même pour l'objectif multicritère OMC'.

$$OMC' = (NICNP * 100 + NSJU) * 10 + DMO' \quad (14)$$

Ces derniers sont améliorés à l'aide d'une heuristique de Bin-Packing couplée à une descente stochastique. Le premier objectif a aussi été minimisé.

5 MISE EN ŒUVRE ET RESULTATS

Nous illustrons les résultats obtenus avec un jeu de données générées, composé de 15 IM préventives et 80 IC. Le tableau 1 indique les informations suivantes : pour l'IM (le numéro (NumIM), le type (TypeIM), l'heure de début (Hdeb), l'heure de fin (Hfin), la salle, le jour et l'intervenant). Le tableau 2 contient les données des IC, qui comportent le numéro (NumIC), le type (TypeIC), la durée). Le temps de décontamination pour tout type d'IC est de 25 minutes. La durée des différentes interventions, ainsi que celle d'ouverture des salles est donnée en minutes. Pour l'illustration, six intervenants en charge des activités de maintenance ont été considérés. Pour un début toutes les six salles sont considérées comme banalisées, une IC peut donc être affectée dans n'importe quelle salle. Le travail a consisté à affecter les différentes IC en tenant compte des IM déjà placées dans les salles, avec pour objectifs de minimiser le nombre d'IC non affectées, de minimiser le nombre de salles-jours utilisés et de minimiser la durée minimum d'occupation des salles. Les IM sont connues à l'avance car étant considérées comme activités de maintenance préventive. Elles sont de différents types (mécanique, électrique, électronique, etc.). Le planning des IM est construit par le responsable de maintenance à l'aide de l'exploitation de l'historique des pannes des équipements. Les IM ne sont pas placées simultanément avec les IC, elles sont placées avant les IC. Le premier objectif est étudié à l'aide d'un modèle MIP (PLNE) résolu avec (Glpk) et (Lpsolve). L'objectif multicritère est étudié à l'aide d'un couplage heuristique-descente stochastique.

NumIM	TypeIm	Hdeb	Hfin	Salle	Jour	Intervenant
1	2	0	45	1	1	X1
2	1	180	240	2	1	X2
3	4	450	480	3	1	X3
4	5	0	60	2	2	X4
5	7	240	300	4	2	X1
6	3	0	30	3	2	X2
7	6	90	140	4	3	X3
8	6	90	140	1	3	X1
9	3	0	30	3	3	X4
10	2	429	474	1	4	X3
11	1	0	60	2	4	X2
12	7	420	480	4	4	X1
13	5	120	180	2	5	X4
14	5	0	60	3	5	Y1
15	4	300	350	4	5	Y2

Tableau 1. Les données des IM

Numlc	Typelc	Duree	Numlc	Typelc	Duree	Numlc	Typelc	Duree
1	3	90	28	4	120	54	3	90
2	1	120	29	3	90	55	5	150
3	2	90	30	7	90	56	6	90
4	4	120	31	5	150	57	6	90
5	5	150	32	1	90	58	8	120
6	10	90	33	4	120	59	7	90
7	8	120	34	2	90	60	7	90
8	6	90	35	3	90	61	8	120
9	7	90	36	6	90	62	5	150
10	9	120	37	7	90	63	4	120
11	1	120	38	10	90	64	9	120
12	2	90	39	8	120	65	9	120
13	8	120	40	9	120	66	1	120
14	9	120	41	3	90	67	1	120
15	3	90	42	5	150	68	2	90
16	5	150	43	7	90	69	3	90
17	4	120	44	4	120	70	10	90
18	10	90	45	2	90	71	2	90
19	7	90	46	1	120	72	5	150
20	6	90	47	8	120	73	4	120
21	10	90	48	9	120	74	8	120
22	8	120	49	10	90	75	10	90
23	9	120	50	6	90	76	3	90
24	5	150	51	4	120	77	2	90
25	6	90	52	1	120	78	6	90
26	2	90	53	8	120	79	4	120
27	1	120				80	5	150

Tableau 2. Les données des IC

5.1 Programme linéaire (PLNE)

Nous utilisons deux outils Glpk (Gl et Gu) et Lpsolve (Lp). Gl (Glpcol) et Gu (Gusek) utilisent des options de résolution différentes. Le tableau 3 présente les résultats avec une durée de résolution limitée à 60 secondes. Il donne le nombre d'interventions chirurgicales placées (NICP), la durée d'utilisation des salles sur l'horizon (DUS).

Horizon	Gl		Gu		Lp	
	NICP	DUS	NICP	DUS	NICP	DUS
1	21	2415	21	2505	21	2415
2	38	4550	42	5010	38	4580
3	57	7155	58	7390	55	7075
4	71	9335	74	9890	72	9570
5	80	10700	80	10700	80	10700

Tableau 3. Résultats obtenus après affectation des IC

5.2 Heuristique 1 (H1)

Le tableau 4 présente les résultats obtenus avec la première heuristique, qui affecte les IC par ordre d'arrivée. Il donne comme le précédent tableau le nombre d'IC placées par jour, le nombre de salles jours utilisés et enfin le nombre de salles jours périodes sur l'horizon.

Horizon	H1		
	NICP	NSJU	NSJUP
1	15	6	7
2	32	12	14
3	49	18	20
4	70	24	26
5	80	27	30

Tableau 4. Résultats obtenus après affectation des IC

Rappelons qu'une intervention de maintenance placée en mi-journée, crée deux périodes d'utilisation de la salle concernée. Dans les autres cas, on ne considère qu'une seule période.

5.3 Heuristique 2 (H2)

Le tableau 5 présente les résultats obtenus avec la deuxième heuristique, procédant au tri des IC par ordre décroissant de la durée. Les indicateurs du tableau précédent sont les mêmes ici.

Horizon	H2		
	NICP	NSJU	NSJUP
1	17	6	7
2	35	12	14
3	51	18	20
4	72	24	27
5	80	27	31

Tableau 5. Résultats obtenus après affectation des IC

5.4 Heuristique 3 (H3)

Le tableau 6 présente les résultats de la dernière variante (Best Fit). Cette dernière utilise le plus grand nombre de salles jours pour toutes les IC à placer.

Horizon	H3		
	NICP	NSJU	NSJUP
1	17	6	7
2	34	12	14
3	51	18	20
4	68	24	26
5	80	29	33

Tableau 6. Résultats obtenus après affectation des IC

5.5 Couplage descente stochastique(DS) et H1

Le tableau 7 présente les résultats obtenus par le couplage de la descente stochastique et H1 limité à 10 000 000 itérations. Une liste d'IC enregistrées par ordre d'arrivée constitue, provisoirement, le meilleur ordonnancement, correspondant ainsi à l'état initial pour la DS. La DS effectue une permutation de deux IC choisies aléatoirement. Le critère de ce nouvel ordonnancement est évalué par H1. Dans cet article, le critère à minimiser par la DS est celui du nombre d'IC non placées par jour et durant l'horizon de planification.

Horizon	DS		
	NICP	NSJU	NSJUP
1	21	6	7
2	40	12	14
3	57	18	20
4	76	24	26
5	80	29	31

Tableau 7. Résultats obtenus après affectation des IC

5.6 Commentaire des résultats

On constate que H1 est moins performante que H2 et H3. H2 affecte le plus d'IC dans les salles et utilise moins de couples (salle, jour) que H3. Lorsque toutes les IC sont placées, comme c'est le cas à l'horizon 5, on constate que H1 utilise moins de couples et moins de triplets (salle, jour, période) que les autres heuristiques. En PLNE, les options utilisées pour Gu placent plus d'IC que Gl, Lp et les trois heuristiques. En couplant la DS avec H1, on obtient de meilleurs résultats sur les placements des IC pour un horizon fixé avec un nombre d'itérations limité à 10 000 000. La durée d'exécution n'est plus négligeable, il faut compter une dizaine de minutes sur un AMD Phenom 6 cœurs à 2,8GHz. Avec un nombre d'itérations inférieur, les résultats sont moins bons mais ils sont meilleurs que pour H1 et obtenus plus rapidement.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons proposé un modèle et mis en œuvre différentes méthodes de résolution (exactes et approchées) sur les données générées en concertation avec l'hôpital Laquintinie de Douala. Les résultats obtenus sont satisfaisants et notre outil d'aide à la décision sera implanté dans cet hôpital et mis en œuvre sur des données réelles. Les perspectives concernent entre autres : la programmation du bloc opératoire (planifier les IC et affecter les ressources matérielles) et la prise en compte des opérations de maintenance curative. L'affectation des IC en tenant compte des spécialités des salles d'opération ainsi que celles des chirurgiens. Après la descente stochastique, d'autres méta-heuristiques, les algorithmes du kangourou et du recuit simulé, seront utilisés pour optimiser les critères utiles pour la gestion des ressources de l'hôpital.

REFERENCES

- Aniba S. and A. Jebali, 2011. Approches stochastiques pour la planification des interventions au bloc opératoire. *9^e Congrès International de Génie Industriel (CIGI' 2011)*, Québec.
- Agnetis, A., A. Coppi, M. Corsini, G. Dellino, C. Meloni, and M. Pranzo, 2012. Long term evaluation of operating theater planning policies. *Operations Research for Health Care 1 (2012) 95–104*.
- Ayadi I., L. Bouillant, P. Aknin, and P. Siarry, 2010. Optimisation par algorithme génétique de la maintenance préventive dans un contexte de modélisation par modèles graphiques probabilistes. *17^{ème} Congrès de Maîtrise des Risques et de sûreté de Fonctionnement*, La Rochelle, France.
- Aoudjit, H., 2010. *Planification de la maintenance d'un parc de turbines-alternateurs par programmation mathématique*. Thèse de Doctorat, Université de Montréal, Canada.
- Bescos P. L., P. Dobler, C. Mendoza, and G. Naulleau, 1995. *Contrôle de gestion et Management*, Editions Montchrestien, Paris.
- Boschian-Campaner V. and R. Stock, 2010. Matrice de compétences pour l'ordonnancement des tâches de maintenance. *8^{ème} Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation (MOSIM' 2010)*, Hammamet, Tunisie.
- Cardoen, B., and E. Demeulemeester, 2010. Operating room Planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 201, p. 921–932.
- Chaabane, S., N. Meskens, A. Guinet, and T. M. Laurent, 2008. Comparison of two methods of operating theatre planning: application in belgian hospital. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 17, p. 171-186.
- Chouikhi H., S. Dellagi S. and N. Rezg, 2010. *8^{ème} Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation (MOSIM' 2010)*, Hammamet, Tunisie.
- Denton, B., J. Viapiano, and A. Vogl, 2007. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health Care Management Science*, 10, p.13-24.
- Fei H., D.Duvivier, N.Meskens, and C. Chu, 2006. Ordonnancement journalier dans un bloc opératoire dans le cadre d'une stratégie « open scheduling ». *Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH'2006)*, Luxembourg.
- Fei, H., 2006. *Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnancement des blocs opératoires*. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Catholiques de Mons, Belgique.
- Fei, H., C. Chu, N. Meskens, and A. Artiba, 2008. Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach. *International Journal of Production Economics*, 112, p. 96-108.
- Fitouhi, M. C., 2011. *Optimisation de la planification intégrée de la maintenance préventive et de la production des systèmes multi-états*. Thèse de Doctorat, université Laval, Québec
- Franke, S., J. Meixensberger, and T. Neumuth, 2013. Intervention time prediction from surgical low-level tasks. *Journal of Biomedical Informatics*, 46, p. 152–159.
- Glpk. 2014. <http://www.gnu.org/software/glpk/>
- Guinet, A., S. Chaabane, 2003. Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics*, 85, p. 69-81.
- Hammami, S., P. Ladet, B. H. A. Atidel, and A. Ruiz, 2007. Une programmation opératoire robuste. *Logistique et Management*, 15, p. 95-111.
- Hans, E., G. Wullink, M. Van Houdenhoven, and G. Kazemier, 2008. Robust surgery loading. *European Journal of Operational Research*, 185, p. 1038-1050.
- Hanset, A., 2010. *Amélioration de l'efficacité de la programmation opératoire au sein des établisse-*

- ments de soins de santé. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Catholiques de Mons, Belgique.
- Hedjazi D. and A. Zidani, 2012. Contribution à l'ordonnement des activités de maintenance industrielle sous contraintes de ressources et compétences. *9^{ème} Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation (MOSIM' 2012)*, Bordeaux, France.
- Iser J. H., B. T. Denton, and R. E. King, 2008. Heuristics for balancing operating room and post-anesthesia resources under uncertainty. *Winter Simulation Conference (2008)*, Miami, USA, p. 1601-1608.
- Jebali, A., A. HADJ Aloiane, and P. Ladet, 2006. Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics*, 99, p. 52-62.
- Kharraja, S., S. Hammami, and R. Abbou, 2003. *Outils d'aide à la planification et l'ordonnement des plateaux-médico-techniques*. Génie Industriel, Université Jean-Monnet, Saint-Etienne.
- Kharraja, S., 2003. *Outils d'aide à la planification et l'ordonnement des plateaux médicotéchniques*. Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, France.
- Kharraja S., F. Albert, and S. Chaabane, 2006. Blocs opératoires publics : application de la stratégie block scheduling. *Modélisation et Simulation (MOSIM' 2006)*, Rabat, Maroc.
- Kodali, B. S., D. Kim, R. Bleday, H. Flanagan, and R. D. Urman, 2014. Successful strategies for the reduction of operating room turn overtimes in a tertiary care academic medical center. *Journal of surgical research*, 187, p. 403-411.
- Kuo, P., R. S. Schroeder, Mahaffey, and R. R. Bollinger, 2003. Optimization of operating room allocation using linear programming technique. *The American College of Surgeons*, 197(6), p. 889-895.
- Lamiri, M., X. Xie, A. Dolgui, and F. Grimaud, 2008. A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery. *European Journal of Operational Research*, 185, p.1026-1037.
- Lovejoy, W., and Y. Li, 2002. Hospital operating room capacity expansion. *Management Science*, 48(11), p. 1369-1387.
- Lpsolve. 2014. <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>
- Macario, A., T. S. Vitez, B. Dunn, and T. McDonald, 1995. Where Are the Costs in Perioperative Care?: Analysis of Hospital Costs and Charges for Inpatient Surgical Care. *Anesthesiology* 83, p. 1138-1144.
- Marcon E., S. Kharraja, G. Simonnet, 2001a. The operating theatre scheduling: an approach centred on the follow-up of the risk of no realization of the planning. *Proceeding of the Industrial Engineering and Production Management*, Canada, p. 18-21.
- Marcon, E., S. Kharraja, and G. Simonnet, 2001b. Minimization of the risk of no realization for the planning of the surgical interventions into the operating theatre. *Proceeding of 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies And Factory Automation, France*, p. 675-680.
- Marcon E. and P. Ladet, 2004. Plan Directeur d'Allocation des Plages Horaires. *Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH 2004)*. Mons, Belgique, p. 9-11.
- Moisdon J. -C., D. Tonneau, 1999. La démarche gestionnaire à l'hôpital, Tome 1 : Recherche sur la gestion interne, Paris, Editions Seli Arslan.
- Spangler W. E., D. P. Strum, L.G. Vargas, and J. H. May, 2004. Estimating Procedure Times for Surgeries by Determining Location Parameters for the Lognormal Model. *Health Care Management Science*, 7, p. 97-104.
- Tancrez, J. -S. B. Roland, J. P. Cordier, and F. Riane, 2013. Assessing the impact of stochasticity for operating theater sizing. *Decision Support Systems*, 55, p. 616-628.
- Vrignat P., M. Avila, F. Duculty, and F. Kratz, 2009. Utilisation des chaînes de Markov cachées pour une évaluation des activités de maintenance dans le cadre d'un processus industriel pour l'agroalimentaire. *Colloque National de la recherche en IUT*, Lille, France.