



HAL
open science

Résolution conjointe des problèmes de planification des opérations chirurgicales et des opérations de maintenance : application au cas des hôpitaux camerounais

Janvier Pensi

► **To cite this version:**

Janvier Pensi. Résolution conjointe des problèmes de planification des opérations chirurgicales et des opérations de maintenance : application au cas des hôpitaux camerounais. Autre [cs.OH]. Université Clermont Auvergne [2017-2020], 2017. Français. NNT : 2017CLFAC033 . tel-01749120

HAL Id: tel-01749120

<https://theses.hal.science/tel-01749120v1>

Submitted on 29 Mar 2018

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

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

EDSPIC
N° d'Ordre : 813

UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE

ECOLE DOCTORALE

*SCIENCES POUR L'INGENIEUR DE
CLERMONT – FERRAND*

THESE

Présentée par

Janvier PENSI

Diplômé d'Etudes Approfondies en Mécanique - Energétique

Pour obtenir

Le grade de Docteur D'université

Spécialité : INFORMATIQUE

**Résolution conjointe des problèmes de planification des
opérations chirurgicales et des opérations de
maintenance : application au cas des hôpitaux
camerounais**

Soutenue publiquement le 20 octobre 2017 devant le jury :

Monsieur	Bernard Grabot	Rapporteur
Monsieur	Fouad Riane	Rapporteur
Monsieur	Michel Gourgand	Directeur de thèse
Madame	Sylvie Norre	Co-directeur de thèse

ABSTRACT

The presented dissertation is about the optimization of hospital systems, more precisely the optimization of the activities of an operation theatre. These activities showcase the surgical procedures to be planned by the person in charge of the block and the preventive maintenance interventions on the equipment in the operating rooms to be programmed by the maintenance department. One solution is the synchronization of these activities during the construction of the operational planning at the operational level. The problem of operational planning is defined, taking the preventive maintenance interventions into account. Two operating programming strategies, Open Scheduling or Open programming and Block Scheduling or Programming are dissociated, with prior allocation of times to surgeons. For each strategy two cases are considered: the first case is where the time of beginning of a maintenance intervention in the room is fixed - this intervention preceding the affection of the surgical interventions in the rooms. The second case is where the maintenance start time varies in the interval between a minimum start time and a maximum start time, with the maintenance intervention placed beforehand.

All four variants are specified and mathematically formalized. They are compared to a bin packing problem. The problem of bin packing has already been the subject of several studies in the past and many methods have already been proposed for its solution. We make several methods propositions (exact and approximate), including a hybrid method, which is based on the coupling between a metaheuristic and a heuristic. Individual based metaheuristics were used. The proposals were inspired by the problems of scheduling permutation. The list of surgical procedures represents scheduling. For the different instances, the solver used as reference gives optimal solutions and intervals of solutions per the horizons. The results obtained are promising. They allow for comparison between the different variants mentioned above with respect to the maintenance start time on one hand, and the two Open Scheduling and Block Scheduling strategies on the other hand. It would be interesting to test these methods on real hospitals, to assess their scope.

Keywords: surgical planning, assignment of surgical interventions, bin packing problem, heuristics, self-based metaheuristics, hybridization technique, open scheduling, block scheduling.

Résumé

Les travaux de thèse présentés s'intéressent à l'optimisation des systèmes hospitaliers plus précisément l'optimisation des activités d'un bloc opératoire. Ces activités concernent les interventions chirurgicales à planifier par le responsable du bloc et les interventions de maintenance préventive sur les équipements dans les salles d'opération à programmer par le service de maintenance. Une solution est la synchronisation de ces activités lors de la construction du planning opératoire au niveau opératoire. Nous définissons le problème de planification opératoire avec prise en compte des interventions de maintenance préventive. Nous dissocions deux stratégies de programmation opératoire : Open Scheduling ou programmation ouverte et Block Scheduling ou programmation avec allocation préalable des plages horaires aux chirurgiens. Pour chacune des stratégies, nous considérons deux cas : le cas où l'heure de début d'une intervention de maintenance dans la salle est fixée, ladite intervention précédant l'affectation des interventions chirurgicales dans les salles. Le second cas étant celui où l'heure de début de maintenance varie dans un intervalle entre une heure de début minimum et une heure de début maximum, avec l'intervention de maintenance placée a posteriori. Toutes les quatre variantes sont spécifiées et formalisées mathématiquement. Elles sont comparées à un problème de bin packing.

Le problème du bin packing a déjà fait l'objet de plusieurs études par le passé et de nombreuses méthodes ont déjà été proposées pour sa résolution. Nous faisons plusieurs propositions de méthodes (exactes et approchées), y compris une méthode hybride, qui repose sur le couplage entre une métaheuristique et une heuristique. Des métaheuristicques basées individu ont été utilisées. Nos propositions se sont inspirées des problèmes de permutation d'ordonnancement. La liste des interventions chirurgicales représente une séquence d'IC. Pour les différentes instances, le solveur utilisé comme référence donne des solutions optimales et des intervalles de solutions selon les horizons. Les résultats obtenus sur des instances générées en concertation avec le monde hospitalier sont intéressants. Ils nous ont permis de comparer les différentes variantes évoquées précédemment par rapport à l'heure de début de maintenance d'une part, et les deux stratégies Open Scheduling et block Scheduling d'autre part. Il serait intéressant de tester nos méthodes sur de réelles instances hospitalières afin d'évaluer leur portée.

Mots-clés : planification opératoire, affectation des interventions chirurgicales, problème du bin packing, heuristiques, métaheuristicques basées individu, technique d'hybridation, open scheduling, block scheduling.

Table des matières

Abstract	i
Résumé	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des algorithmes	ix
Introduction générale	1
I Contexte.....	5
Introduction	6
1. Le système de santé publique français	7
1.1. La planification et l'organisation du système de santé français.....	7
1.2. Cartographie du secteur hospitalier français	8
2. Le système de santé publique camerounais	10
2.1. Organisation et fonctionnement	11
2.2. Les intervenants dans le secteur de la santé	12
2.3. Les problèmes du système de santé camerounais	13
3. Les blocs opératoires	14
3.1. Fonctionnement des blocs opératoires français	16
3.2. Fonctionnement des blocs opératoires camerounais	19
4. La fonction maintenance	20
4.1. Définition de la maintenance	21
4.2. Les stratégies de la maintenance	21
5. Notre problématique	22
5.1. Présentation du mode de fonctionnement actuel du BO de l'HLD.....	22
5.2. Proposition d'un outil d'aide à la décision	24
Conclusion	26
II Etat de l'art : revue de la littérature et des logiciels.....	27
Introduction	28
1. Proposition d'une classification et d'une notation	29
1.1. Classification	29
1.2. Notation	29
2. Revue de la littérature	36
2.1. Classification.....	36
2.2. Synthèse pour le champ α	37
2.3. Synthèse pour le champ β	37
2.4. Synthèse pour le champ γ	38
2.5. Conclusion de la revue de la littérature.....	38
3. Méthodes utilisées.....	39
4. Les principaux logiciels sur le marché pour la gestion des blocs opératoires..	41
5. Quelques travaux traitant la production et la maintenance en milieu.....	
Industriel.....	44
Conclusion	46

III	Spécification et formalisation.....	47
	Introduction	48
	1. Application de la méthode ASCI à la gestion des blocs	49
	1.1. Processus de modélisation du problème	49
	1.2. Sous système physique	50
	1.3. Sous système logique	50
	1.4. Sous système décisionnel	50
	1.5. Diagramme de classes	51
	2. Open Scheduling (OS)	53
	2.1. Hypothèses	54
	2.2. Diagramme de classes associé	55
	2.3. Heure de début de maintenance fixée	55
	2.4. Heure de début de maintenance variable	58
	3. Block Scheduling (BS)	62
	3.1. Hypothèses	63
	3.2. Diagramme de classes associé	64
	3.3. Heure de début de maintenance fixée	64
	3.4. Heure de début de maintenance variable	66
	Conclusion	69
IV	Méthodes d'optimisation.....	70
	Introduction	71
	1. Méthodes de résolution pour l'optimisation combinatoire	72
	1.1. Méthodes approchées	72
	1.2. Techniques d'hybridation	78
	2. Le problème du bin packing.....	79
	2.1. Méthodes de résolution du bin packing	80
	3. Analogies avec le problème du bin packing	86
	3.1. Cas OS avec heure de début de Maintenance Fixée (OSMF)	86
	3.2. Cas OS avec heure de début de Maintenance Variable (OSMV)	87
	3.3. Cas BS avec heure de début de Maintenance Fixée (BSMF)	88
	3.4. Cas BS avec heure de début de Maintenance Variable (BSMV)	88
	4. Proposition de méthodes pour la construction du planning opératoire ..	89
	4.1. Codage d'une solution.....	90
	4.2. Codage d'un ordonnancement	90
	4.3. Algorithmes de placement.....	91
	4.4. Système de voisinage.....	103
	4.5. Métaheuristiques.....	103
	4.6. Couplage métaheuristiques - heuristique <i>FF</i>	104
	4.7. Récapitulatif des algorithmes.....	107
	Conclusion	107
V	Mise en œuvre des méthodes proposées et résultats.....	108
	Introduction.....	109
	1. Open Scheduling OS.....	110
	1.1. Présentation des instances.....	110
	1.2. Résultats obtenus.....	114
	1.3. Comparaison entre les deux maintenances MF et MV pour OS.....	131
	2. Block Scheduling BS.....	132
	2.1. Présentation des instances.....	133

2.2. Résultats obtenus.....	138
2.3. Comparaison entre les deux maintenances MF et MV pour BS.....	141
3. Comparaison entre les deux stratégies OS et	143
Conclusion.....	147
Conclusion générale.....	157
Références bibliographiques.....	159
Annexes.....	165
Annexe 1 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la première instance avec OSMF pour les horizons 1 et 2.....	165
Annexe 2 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la deuxième instance avec OSMF pour les horizons 1 et 2.....	167
Annexe 3 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la troisième instance avec OSMF pour les horizons 1 et 2.....	169
Annexe 4 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la première instance avec BSMF pour les horizons 1 et 2.....	172
Annexe 5 – Comparaison entre les deux maintenances MF et MV des instances 2 et 3 pour OS.....	177
Annexe 6 – Les paramètres à régler de l’algorithme du recuit simulé.....	177
Annexe 7 – Le paramètre à régler de l’algorithme du kangourou.....	178

Liste des figures

1.1	Un exemple de planning OS de 2 jours.....	17
1.2	Un exemple de planning des lundis et mardis pour les 3 salles d'opération d'un BO.....	18
1.3	Ajustement des plages horaires des chirurgiens.....	19
2.1	Classification.....	21
2.2	Classification des articles par ressources considérées.....	36
3.1	Communication entre les trois sous-systèmes.....	49
3.2	Diagramme de classes.....	52
3.3	Fractionnement de la durée d'ouverture de la salle en P1 et P2.....	53
3.4	Une salle sans IM programmée.....	53
3.5	Diagramme de classes associé aux salles polyvalentes.....	55
3.6	Illustration des heures de l'IM variable.....	58
3.7	Occupation temporelle maximale de la période P1.....	60
3.8	Occupation temporelle maximale de la période P2.....	60
3.9	Présence de l'IM.....	61
3.10	L'IM divise la plage P2 en P et P'.....	62
3.11	L'IM divise les plages P1 et P2.....	62
3.12	Diagramme de classes associé aux salles dédiées.....	64
3.13	IM planifiée sur 2 plages consécutives P1 et P2.....	66
4.1	Principe du chainage de deux méthodes.....	79
4.2	Principe du couplage séquentiel de deux méthodes.....	79
4.3	Principe du couplage hiérarchique de deux méthodes.....	80
4.4	IM divise la salle en deux périodes P1 et P2.....	87
4.5	IM divise la plage P en P1 et P2.....	89
4.6	Couplage métaheuristiques – Algorithme de placement.....	90
4.7	Partition de la salle par la présence de l'IM en deux périodes P1 et P2.....	92
4.8	Partition de la salle en deux périodes P1 et P2 par une IM avec heure de début..... Variable.....	95
4.9	l'IM placée au début de la plage horaire.....	97
4.10	l'IM placée à la fin de la plage horaire.....	98
4.11	l'IM placée au milieu de la plage horaire.....	98
4.12	l'IM placée sur deux plages horaires consécutives.....	98
4.13	IM divise la plage P en P ₁ et P ₂	100
4.14	IM planifiée sur 2 plages consécutives P ₁ et P ₂	100
4.15	IM avec Hfmin sur la 1 ^{ère} plage et Hfmax sur la 2 ^{ème}	101

Liste des tableaux

1.1	Champ hospitalier public et privé (D.H.O.S, 2006).....	9
1.2	Les différents niveaux du système national de santé public (INS/PETS2, 2010).....	13
2.1	Champ α – structure.....	31
2.2	Champ β – règles de gestion.....	33
2.3	Champ γ – objectifs.....	35
2.4	Méthodes de résolution.....	40
2.5	Fonctionnalités des principaux logiciels de gestion des blocs opératoires.....	42
2.6	Synthèse des travaux ayant traité à la fois les problématiques de la production et de la maintenance.....	45
4.1	Analogies entre le bin packing et le cas OSMF.....	87
4.2	Analogies entre le bin packing et le cas OSMV.....	88
4.3	Analogies entre le bin packing et le cas BSMF.....	88
4.4	Analogies entre le bin packing et le cas BSMV.....	89
4.5	Récapitulatif des algorithmes de placement et des couplages.....	107
5.1	Les données des IC de la première instance pour OS.....	111
5.2	Les données des IC de la 2 ^{ème} instance pour OS.....	112
5.3	Les données des IC de la 3 ^{ème} instance pour OS.....	113
5.4	Les données des IM pour OS.....	115
5.5	Minimisation de NICNP en OSMF des 3 instances par la PLNE.....	116
5.6	Maximisation de DUS en OSMF des 3 instances par la PLNE.....	116
5.7	Maximisation de C1 en OSMF des 3 instances par la PLNE.....	118
5.8	Maximisation de C2 en OSMF des 3 instances par la PLNE.....	118
5.9	Critère NICNP de la 1 ^{ère} instance des 9 heuristiques.....	119
5.10	Critère NICNP de la 2 ^{ème} instance des 9 heuristiques.....	119
5.11	Critère NICNP de la 3 ^{ème} instance des 9 heuristiques.....	119
5.12	Critère DUS de la 1 ^{ère} instance fourni par les heuristiques.....	120
5.13	Critère DUS de la 2 ^{ème} instance fourni par les heuristiques.....	120
5.14	Critère DUS de la 3 ^{ème} instance fourni par les heuristiques.....	121
5.15	Critère taux d'utilisation des salles des 9 heuristiques de le 1 ^{ère} instance.....	121
5.16	Critère taux d'utilisation des salles des 9 heuristiques de le 2 ^{ème} instance.....	121
5.17	Critère taux d'utilisation des salles des 9 heuristiques de le 3 ^{ème} instance.....	122
5.18	Maximisation de C1 en OSMF de la 1 ^{ère} instance par les heuristiques.....	123
5.19	Maximisation de C1 en OSMF de la 2 ^{ème} instance par les heuristiques.....	123
5.20	Maximisation de C1 en OSMF de la 3 ^{ème} instance par les heuristiques.....	124
5.21	Maximisation de C2 en OSMF de la 1 ^{ère} instance par les heuristiques.....	124
5.22	Maximisation de C2 en OSMF de la 2 ^{ème} instance par les heuristiques.....	125
5.23	Maximisation de C2 en OSMF de la 3 ^{ème} instance par les heuristiques.....	125
5.24	Minimisation de NICNP en OSMF de la 1 ^{ère} instance par des couplages métaheuristiques - <i>FF</i>	126
5.25	Minimisation de <i>NICNP</i> en OSMF de la 2 ^{ème} instance par des couplages métaheuristiques - <i>FF</i>	127
5.26	Minimisation de <i>NICNP</i> en OSMF de la 3 ^{ème} instance par des couplages métaheuristiques - <i>FF</i>	127
5.27	Les données des IM pour OSMV.....	128
5.28	Minimisation de <i>NICNP</i> en OSMV des 3 instances par la PLNE.....	129

5.29	Critère <i>NICNP</i> pour les 3 instances fourni par l'heuristique <i>FF OSMV</i>	129
5.30	Minimisation de <i>NICNP</i> en OSMV de la 1 ^{ère} instance par des couplages métaheuristiques - <i>FF</i>	130
5.31	Minimisation de <i>NICNP</i> en OSMV de la 2 ^{ème} instance par des couplages métaheuristiques - <i>FF</i>	130
5.32	Minimisation de <i>NICNP</i> en OSMV de la 3 ^{ème} instance par des couplages métaheuristiques - <i>FF</i>	130
5.33	Comparaison du critère <i>NICNP</i> obtenu par la PLNE entre MF et MV.....	131
5.34	Comparaison du critère <i>NICNP</i> de la première instance obtenu par les couplages métaheuristiques – <i>FF OSMF</i> et <i>FF OSMV</i> entre MF et MV.....	132
5.35	Les données des IC de la première instance pour BS.....	134
5.36	Les données des IC de la deuxième instance pour BS.....	135
5.37	Les données des IC de la troisième instance pour BS.....	136
5.38	Les données des plages horaires pour BS.....	137
5.39	Minimisation de <i>NICNP</i> en BSMF des 3 instances par la PLNE.....	138
5.40	Critère <i>NICNP</i> fourni pour les 3 instances par l'heuristique <i>FF BSMF</i>	139
5.41	Minimisation de <i>NICNP</i> en BSMF de la 1 ^{ère} instance par les métaheuristiques.....	139
5.42	Minimisation de <i>NICNP</i> en BSMF de la 2 ^{ème} instance par les métaheuristiques.....	140
5.43	Minimisation de <i>NICNP</i> en BSMF de la 3 ^{ème} instance par les métaheuristiques.....	140
5.44	Minimisation de <i>NICNP</i> en BSMV des 3 instances par la PLNE	141
5.45	Minimisation de <i>NICNP</i> en BSMV des 3 instances par le couplage <i>KA - FF</i>	141
5.46	Comparaison du critère <i>NICNP</i> obtenu par la PLNE entre MF et MV.....	142
5.47	Comparaison du critère <i>NICNP</i> des 3 instances obtenu par les couplages <i>KA – FFBSMF</i> et <i>KA – FFBSMV</i> entre MF et MV.....	142
5.48	Comparaison du critère <i>NICNP</i> minimisé en MF et MV par la PLNE..... pour OS et BS.....	144
5.49	Comparaison du critère <i>NICNP</i> minimisé par les couplages métaheuristiques – <i>FF</i> en MF entre OS et BS en première instance.....	145
5.50	Comparaison du critère <i>NICNP</i> minimisé par les couplages métaheuristiques – <i>FF</i> en MF entre OS et BS en deuxième instance.....	146
5.51	Comparaison du critère <i>NICNP</i> minimisé par les couplages métaheuristiques – <i>FF</i> en MF entre OS et BS en deuxième instance.....	146
5.52	Comparaison du critère <i>NICNP</i> minimisé par les couplages <i>KA – FF</i> en MF..... entre OS et BS en deuxième instance.....	147

Liste des algorithmes

4.1	Algorithme de principe de la recherche locale.....	73
4.2	Algorithme de principe de la descente déterministe.....	74
4.3	Algorithme de principe de la descente stochastique.....	74
4.4	Algorithme de principe du recuit simulé homogène.....	76
4.5	Algorithme de principe de l’algorithme du kangourou.....	78
4.6	Algorithme de l’heuristique <i>NF</i>	83
4.7	Algorithme de l’heuristique <i>FF</i>	84
4.8	Algorithme de l’heuristique <i>BF</i>	85
4.9	First Fit <i>FF</i> OSMF.....	93
4.10	First Fit Increasing <i>FFI</i> ou Next Fit Increasing <i>NFI</i> OSMF.....	93
4.11	Best Fit <i>BF</i> OSMF.....	94
4.12	Best Fit Increasing ou Decreasing OSMF.....	94
4.13	Next Fit <i>NF</i> OSMF.....	95
4.14	First Fit <i>FF</i> OSMV.....	96
4.15	First Fit <i>FF</i> BSMF.....	99
4.16	First Fit <i>FF</i> BSMV.....	102
4.17	Mise en œuvre du système de voisinage.....	103
4.18	Algorithme descente stochastique – heuristique <i>FF</i>	104
4.19	Algorithme recuit simulé – heuristique <i>FF</i>	105
4.21	Algorithme du kangourou – heuristique <i>FF</i>	122

Introduction générale

Cette thèse est réalisée dans le cadre d'une convention de recherche entre l'Hôpital Laquintinie de Douala (HLD), qui est notre champ d'application, et la Faculté de Génie Industriel (FGI) de l'Université de Douala qui a financé cette thèse en partie. Comme dans la plupart des pays du tiers monde, la situation des systèmes hospitaliers n'est pas reluisante.

Dans le cadre de la décentralisation instaurée dans le système de santé publique au Cameroun, visant à rendre autonomes les structures de santé, le directeur de l'HLD entend ainsi améliorer la qualité de ses différents services. Parmi les améliorations en vue, il a jeté son dévolu sur le fonctionnement du bloc opératoire qui fait partie des postes de dépenses les plus importants mais génère aussi d'importantes recettes. Plus que par le passé, il envisage d'accorder une importance capitale à la maintenance des équipements présents dans les salles d'opération (SO) du bloc opératoire (BO).

L'HLD est l'un des premiers grands hôpitaux du pays, il n'a pas échappé aux effets de la crise économique que le pays a connue. Celle-ci a été suivie par la dévaluation du FCFA (Franc de la Coopération Financière en Afrique Centrale) en 1994, qui a eu pour conséquence de doubler le prix d'achat des produits à l'importation. L'HLD ne s'est pas doté de nouveaux équipements au BO depuis au moins 20 ans à cause de son budget modeste. Par contre, ces dernières années, il a bénéficié pour ses services, de plusieurs dons de matériels grâce à la coopération. C'est le cas de l'Association Sud Francilien Afrique (ASFA) en 2013, qui a remis un don constitué entre autres : des chariots de transfert sur les tables d'opération, des lavabos chirurgicaux, des éclairages opératoires, des caisses à filtres pour usages chirurgicaux, des tables d'opérations orthopédiques et de chirurgie générale, etc.

Certains des équipements reçus, arrivent sans dossier technique ni historique de fonctionnement. D'autres sont livrés sans pièces de rechange critiques. Pour la plupart, ces pièces sont malheureusement introuvables sur le marché local. Ceci rend la tâche encore plus difficile à l'équipe de maintenance.

L'évolution de la technologie est aussi un autre handicap pour les techniciens ne bénéficiant pas de programme de formation adaptée à certains équipements plus récents. Il est dès lors indispensable de rechercher de nouvelles ressources et stratégies pour améliorer l'utilisation de certains matériels.

Le BO est dirigé par un responsable chargé d'animer le conseil du bloc le vendredi à l'issue duquel le planning opératoire de la semaine suivante est construit. Ce planning ne prend en compte que les interventions chirurgicales (IC). De son côté, le responsable de la maintenance planifie les interventions de maintenance (IM) devant être effectuées sur les équipements du BO. Cependant, il ne prend pas part au conseil du BO. La concertation est absente entre les deux services. Chaque responsable gère sa partie. Le responsable du BO s'occupe des IC, des plages de disponibilité des chirurgiens et de l'équipe de décontamination.

Le responsable de la maintenance a toujours géré les actions de maintenance curative. Il est sollicité uniquement lorsqu'une panne survient sur un équipement dans une salle. Actuellement, on veut s'orienter vers les actions de maintenance préventive, question de ne plus subir les pannes.

Cette thèse s'intéresse à la gestion du BO, avec pour objectif particulier de proposer un outil d'aide à la décision permettant la construction du planning opératoire prenant en compte non seulement des interventions chirurgicales mais aussi des interventions de maintenance préventive. Le planning opératoire devrait donc intégrer les IM préventives et ensuite les IC. Il sera similaire au programme directeur de production en milieu industriel, qui intègre les actions de maintenance et les actions de production. La démarche séquentielle, consistant à placer les IM et ensuite les IC, a été retenue pour accorder de l'importance à la maintenance préventive par rapport à l'état des équipements.

La concertation sera donc de mise entre le responsable du BO et celui de la maintenance, avec pour objectif la construction d'un planning opératoire optimal. Le second fera parvenir au premier, avant le conseil du BO, les IM de la semaine suivante à planifier. Une IM au plus sera planifiée dans une salle un jour donné.

L'outil développé devra faciliter la construction d'un planning opératoire pour les niveaux opérationnel et tactique.

Cette thèse a été préparée au sein de l'axe « Systèmes de Production » nouvellement baptisé « Outils Décisionnels pour la Production et la Logistique » du LIMOS (Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes) de Clermont-Ferrand.

Le problème traité concerne la planification du bloc opératoire, qui consiste à allouer les plages aux chirurgiens quand c'est nécessaire, à affecter une intervention chirurgicale, dans une SO compatible, un jour donné de l'horizon de planification, en tenant compte de contraintes de disponibilité des chirurgiens et aussi des salles qui peuvent être réservées pour la maintenance sur un créneau horaire fixe ou variable. L'horizon de planification est en général fixé à une semaine mais il est paramétrable. Le problème de planification est un problème d'optimisation combinatoire qui est connu pour être NP-complet.

La particularité de ce travail est qu'il propose une planification du BO intégrant les IC et les IM d'une manière séquentielle. Cette stratégie, consiste à planifier en premier les IM et ensuite les IC. Les IM seront ainsi considérées comme les contraintes pour les IC. L'originalité de cette planification est que le planning des IC dans les SO se fait avec une durée d'utilisation fractionnée, par la présence d'une IM, un jour donné, dans une salle donnée. La littérature dans le domaine des systèmes hospitaliers (présentée au chapitre 2), traitant les problématiques de planification opératoire, propose des solutions qui ne s'appliquent pas directement à notre problématique. Par contre, c'est dans le domaine industriel, que la planification de la production intègre les actions de maintenance préventive.

Nous nous sommes intéressés à des méthodes de résolution de programmation linéaire en nombres entiers et à des méthodes approchées, en l'occurrence, des heuristiques et des métaheuristiques. Ces dernières sont des heuristiques générales dans le sens où leur champ d'application s'étend à la majorité des problèmes d'optimisation combinatoire (au contraire des heuristiques dédiées, qui ne s'appliquent qu'à un problème précis). Les métaheuristiques ont connu un développement important ces deux dernières décennies et sont considérées comme des méthodes de résolution les plus puissantes dans le domaine de l'optimisation combinatoire. Nous avons aussi, pour montrer leur efficacité, couplé une heuristique avec plusieurs métaheuristiques.

Ce mémoire est composé de cinq chapitres.

Le premier chapitre décrit le contexte de nos travaux et présente notre problématique. La première partie aborde la présentation des systèmes de santé français et camerounais, leur organisation et fonctionnement, les différents intervenants, et expose les problèmes rencontrés dans le système de santé camerounais. Ensuite, l'accent est mis sur le fonctionnement du bloc opératoire dans les deux systèmes de santé. Les différentes stratégies de fonctionnement du bloc opératoire en France sont définies et les différences entre les blocs opérateurs des deux systèmes sont révélées. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à la fonction maintenance, sa définition et ses différentes stratégies dans sa mise en place. La dernière partie de ce chapitre présente la problématique de nos travaux.

Le deuxième chapitre est consacré à la planification opératoire dans la littérature. Il est composé de deux parties essentielles. La première partie est une proposition de classification et de notation qui a permis de structurer notre travail. La notation est réalisée suivant trois champs. Le premier champ décrit la structure du modèle étudié, le second les règles de gestion qui régissent le modèle, les règles qui établissent l'interaction entre les interventions chirurgicales et les différentes ressources et le troisième les critères de performance. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à l'état de l'art. Il suit la structure donnée par la classification. Il se termine par une synthèse des méthodes de résolution utilisées.

Le troisième chapitre commence par la présentation de la méthodologie que nous avons suivie. Ce chapitre décrit la première étape de cette méthodologie en construisant un modèle de connaissance du problème traité. Ainsi, nous débutons par une phase d'analyse et de spécification de la problématique. Le résultat des phases d'analyse et de spécification de la problématique est présenté sous la forme de diagrammes de classes UML (Unified Modeling Language). De ce diagramme de classes, découlent deux autres diagrammes associés aux salles polyvalentes et aux salles dédiées. Les salles polyvalentes sont celles qui peuvent accueillir tout type d'intervention chirurgicale. Par contre, les salles dédiées sont réservées à certains types d'interventions chirurgicales. Ce chapitre se termine par la modélisation du problème traité et de quatre modèles mathématiques (modèle d'action).

Le quatrième chapitre aborde la suite de la construction du modèle d'action. Il débute par la présentation des méthodes de résolution pour l'optimisation combinatoire, que nous avons utilisées. Ensuite, nous présentons les techniques d'hybridation. Le problème du bin packing de base, auquel notre problème est similaire, ainsi que ses méthodes de résolution sont par la suite présentés. Ce chapitre se termine par la présentation des méthodes proposées pour la résolution du problème étudié.

Le cinquième chapitre présente les différentes expérimentations réalisées sur le problème de la planification.

Ce manuscrit se termine par une conclusion générale et des perspectives de recherche.

Chapitre 1

Contexte

Introduction	6
1. Le système de santé publique français	7
1.1. La planification et l'organisation du système de santé français.....	7
1.2. Cartographie du secteur hospitalier français	8
2. Le système de santé publique camerounais	10
2.1. Organisation et fonctionnement	11
2.2. Les intervenants dans le secteur de la santé	12
2.3. Les problèmes dans le système de santé camerounais	13
3. Les blocs opératoires	14
3.1. Fonctionnement des blocs opératoires français	16
3.1.1. La programmation ouverte ou Open Scheduling (OS)	17
3.1.2. La programmation par allocation de plages ou Block Scheduling (BS)	18
3.1.3. La programmation par allocation de plages avec ajustement ou Modified Block Scheduling (MBS)	18
3.2. Fonctionnement des blocs opératoires camerounais	19
4. La fonction maintenance	20
4.1. Définition de la maintenance	21
4.2. Les stratégies de la maintenance	21
4.2.1. Maintenance corrective	21
4.2.2. Maintenance préventive	21
4.2.2.1. Maintenance systématique	22
4.2.2.2. Maintenance conditionnelle	22
5. Notre problématique	22
5.1. Présentation du mode de fonctionnement actuel du BO de l'HLD.....	22
5.2. Proposition d'un outil d'aide à la décision	24
Conclusion	26

Introduction

A partir des années de crise, la part du financement de la santé assurée par l'Etat du Cameroun a subi une diminution importante des ressources financières. L'une des principales conséquences a été le passage d'une situation de gratuité des soins de santé à une obligation de contribution à la dépense. Les contraintes réglementaires et l'évolution de la concurrence obligent les systèmes hospitaliers, à mettre en place une organisation efficace et une gestion suffisamment rigoureuse de leurs ressources. Ils doivent avec peu de moyens alloués, fonctionner de façon de plus en plus rentable. Atteindre de tels objectifs oblige les responsables de la santé à effectuer des gains significatifs de productivité, tout en accordant une importance capitale à l'amélioration de la qualité de soins des patients.

Dans le domaine hospitalier, le bloc opératoire (BO) est considéré comme étant un lieu stratégique, non seulement pour son importance, mais aussi pour le fait qu'il est à la fois un important centre de consommation du budget et en même temps un centre de production de recettes. Chabaane estime que le bloc opératoire consomme entre 10% et 15% du budget de l'hôpital, mais qu'il contribue entre 30% et 60% au chiffre d'affaires (Chabaane *et al.*, 2008).

Dans le contexte du Cameroun, un nombre important de blocs opératoires des différents centres hospitaliers fait face à beaucoup de difficultés de fonctionnement, et se trouve dans un état défavorable, à cause des équipements qui ont pris de l'âge et dont le taux de défaillance aujourd'hui est très élevé.

L'objectif de cette thèse est de s'inspirer du fonctionnement des blocs opératoires français auquel il faut adjoindre la composante de maintenance, en proposant un outil d'aide à la décision, permettant au responsable du bloc opératoire pendant les conseils du bloc, de construire le planning opératoire d'un horizon d'une semaine, en tenant compte non seulement des interventions chirurgicales mais aussi des interventions de maintenance préventive sur les équipements installés dans des salles opératoires.

Dans ce chapitre, nous présentons à la section 1 le système de santé publique français et à la section 2 le système de santé publique camerounais, leur organisation, leur fonctionnement, et les différents intervenants. La section 3 est consacrée au fonctionnement des blocs opératoires français et camerounais. Les problèmes spécifiques du bloc opératoire au Cameroun sont évoqués. Dans la section 4, nous rappelons la définition de la maintenance et présentons ses différentes stratégies. La section 5 décrit la problématique de ce mémoire, qui est issue du bloc opératoire de l'hôpital Laquintinie de Douala au Cameroun.

1. Le système de santé publique français

Le système de santé français est financé par les cotisations sociales des travailleurs et par des impôts, qui assurent l'accès à la santé pour tous les citoyens. Ce système est d'abord piloté par l'Etat, au niveau national comme au niveau régional.

La loi du 9 août 2004 définit les grandes orientations en termes d'organisation des institutions et des ressources qui interviennent en matière de santé.

Deux grands enjeux se posent : la maîtrise des dépenses de santé et la réduction des inégalités sociales et territoriales de santé.

En France, l'Etat est intervenu tardivement dans la gestion du système de santé publique. Ainsi, seules deux lois, à un siècle d'intervalle, ont été officiellement libellées « loi de santé publique » :

- la loi du 19 février 1902 définissait une liste de maladies à déclaration obligatoire, elle instaurait des vaccinations obligatoires et prévoyait des mesures en matière de désinfection ainsi qu'une surveillance des décès au niveau des villes ;
- la loi du 9 août 2004, relative à la politique de santé publique, avait pour ambition de redonner un cadre de référence à l'ensemble des multiples acteurs de la santé publique, d'une part en créant de nouvelles structures nationales et régionales d'expertise, de concertation et de coordination des acteurs, et d'autre part en définissant des objectifs de santé quantifiés et évalués tous les 5 ans.

En matière d'accès aux soins, la loi de 2004 relative à l'assurance maladie redéfinit l'organisation de l'offre de soins et de la maîtrise médicalisée des dépenses de santé. Elle institue la notion de parcours de soins avec la déclaration par chaque assuré d'un médecin traitant.

Par ailleurs, la dernière loi majeure, celle du 21 juillet 2009, portant réforme de l'hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires (HPST), pose les grandes orientations pour l'organisation du système de santé sur l'ensemble du territoire français.

1.1. La planification et l'organisation du système de santé français

L'administration et la gouvernance du système de santé reviennent à l'Etat. Il existe un fort mouvement de régionalisation de la santé, mais ce processus est orchestré par les organismes décentralisés de l'Etat. L'Assurance Maladie, en charge de la gestion des risques est partenaire de l'Etat dans l'organisation des soins. La définition des politiques de santé publique en France, depuis la loi de santé publique de 2004, s'appuie sur les organes d'expertise tels que : l'InVS (Institut de Veille Sanitaire), l'INPES (Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé), le HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique).

A l'échelle de la région, ce sont les Agences Régionales de Santé (ARS) qui sont en charge de définir les grandes orientations stratégiques, dans le cadre d'un Plan Stratégique Régional de Santé (PSRS). Ce PSRS sera ensuite soumis à consultation de la Conférence Régionale de la Santé et de l'Autonomie (CRSA) composée de collèges représentatifs de la santé publique (associations, professionnels de santé, collectivités locales, etc.), des programmes et des schémas vont être définis dans chacune des régions. D'autres acteurs d'institutions, d'associations, des professionnels de santé agissent en santé au niveau de la région, du département, des collectivités locales, des quartiers. L'enjeu d'une gouvernance partagée du local au régional est manifeste.

1.2. Cartographie du système hospitalier français

Ce secteur est très varié. Les établissements aux différents types de statut juridique y cohabitent, avec en prime la combinaison de différents modes d'organisation et de gestion, de financement et de régulation, de participation aux missions de services publics très différents. C'est ainsi que les statuts des personnels y afférents sont variés. Les établissements de santé sont des entreprises de droit public ou privé. Nous présentons dans le tableau 1.2 (D.H.O.S, 2006) le champ hospitalier public et privé ainsi que ses modalités de financement depuis la réforme du financement des établissements de santé repris par (Rodier, 2010) dans ses travaux de thèse.

Partage selon	Etablissements de santé (1)					
La catégorie d'établissement	Etablissements publics de santé (2)				Etablissements de santé privés(3)	
					Etablissements antérieurement financés par dotation globale	Autres Etablissements privés (4)
	Centres hospitaliers régionaux (CHR)	Centres hospitaliers généraux (CH)	Centres hospitaliers psychiatriques (CHS)	Hôpitaux locaux (HL)	Autres établissements (5)	Etablissements de soins de courte durée
						Centre de lutte contre le cancer (CLCC)
						Etablissements de lutte contre les maladies mentales ((6)
						Etablissements de soins de suite et de réadaptation (7)
						Etablissements de soins de longue durée
						Etablissements d'hospitalisation à domicile
						Etablissements de dialyse
						Etablissements de radiothérapie
Le statut	Secteur public			Secteur privé		
	Participant au service public hospitalier (PSPH)			Non PSPH		
	Secteur non lucratif			Secteur lucratif		
Les modalités de financement	Objectif des dépenses relatives aux activités MCO (ODMCO) Financement de l'activité (8)					
	Dotation annuelle complémentaire provisoire (DAC) (9)					
	Missions d'intérêt général et d'aide à la contractualisation (MIGAC) Dotations spécifiques					
	Objectif des dépenses d'Assurance Maladie (ODAM) relatives aux activités de SSR et de psychiatrie (10) Dotation annuelle de financement (DAF)			Objectif Quantifié national (OQN) relatif aux activités de SSR (Soins de Suite et de Réadaptation) et de psychiatrie		

Tableau 1.1 : Champ hospitalier public et privé (D.H.O.S, 2006)

(1) Etablissements sanitaires publics et privés faisant l'hospitalisation à temps complet, à temps partiel ou à domicile, ou bien qui ont une autorisation pour une activité de soins. Sont inclus les unités pénitentiaires et les hôpitaux militaires.

- (2) Dans le public, il existe selon la loi les centres hospitaliers et les hôpitaux locaux. On distingue les centres hospitaliers régionaux (CHR) à vocation régionale, les centres hospitaliers généraux, CH qui ont plus d'un grand groupe de disciplines d'équipement en Médecine Chirurgie et Obstétrique (MCO), les centres hospitaliers psychiatriques, CH spécialisés en psychiatrie anciennement dénommés CHS, et les hôpitaux locaux qui ont un nombre limité de lits de médecine. Les établissements ne rentrant pas dans ces catégories sont regroupés dans les autres établissements –cf. note (5).
- (3) Dans le privé, les établissements sont regroupés selon leur activité principale. Le nom de cette activité est donné à la catégorie d'établissement.
- (4) Une catégorie regroupe les établissements privés antérieurement sous objectif qualifié national (OQN) et quelques établissements dont le mode de financement a vocation à disparaître (tarif d'autorité et autres tarifications).
- (5) syndicats interhospitaliers (SIH), établissements non rattachés à un centre hospitalier regroupant quelques établissements d'enfants à caractère sanitaire, de soins de longue durée, de lutte contre la tuberculose ou de post-cure pour alcooliques, hôpitaux militaires et établissements sanitaires des prisons.
- (6) y compris les hôpitaux psychiatriques privés (HPP).
- (7) y compris les pouponnières à caractère sanitaire, les maisons d'enfants à caractère sanitaire (MECS) et les centres de post-cure pour alcooliques.
- (8) en plus de la rémunération de l'activité MCO par des tarifs de prestations, les établissements entrant dans le champ de la tarification à l'activité (T2A) peuvent bénéficier de rémunérations pour les médicaments et les dispositifs médicaux implantés facturés en sus, et de forfaits annuels pour les activités d'urgences, les prélèvements d'organes et les greffes.
- (9) part du financement de l'activité en MCO restant sous dotation annuelle et assurant la transition vers un financement totalement alloué à l'activité.
- (10) l'ODAM concerne également l'activité des établissements maintenus hors du champ de la T2A (hôpitaux locaux, USLD, INI, hôpital de Fresnes, établissements de St pierre et Miquelon et Mayotte).

2. Le système de santé public camerounais

La société camerounaise ne prévoit aucune forme de cotisation commune qui garantisse des soins aux plus démunis, du moins pas sous la forme directe d'une assurance maladie. Les camerounais n'ont aucune obligation de contracter une assurance maladie. Ainsi, pour une large partie de la population, c'est le réseau familial et parfois social qui leur permet de payer les soins.

Au Cameroun, on retrouve les hôpitaux de première catégorie, qui sont les hôpitaux de référence. Les hôpitaux de deuxième catégorie sont les hôpitaux centraux avec un plateau technique étoffé. Les hôpitaux régionaux de la troisième catégorie, peuvent couvrir une ou deux régions. Le système de santé camerounais compte :

- 2 hôpitaux généraux (1^{ère} catégorie),
- 3 hôpitaux gynéco-obstétriques (1^{ère} catégorie),
- 4 hôpitaux centraux (2^{ème} catégorie),
- 11 hôpitaux régionaux (3^{ème} catégorie),
- 164 hôpitaux de district,

- 155 centres médicaux d’arrondissement,
- 1 888 centres de santé intégrés dont 1 600 sont fonctionnels,
- 93 hôpitaux privés,
- 193 centres de santé privés à but non lucratif,
- 289 cliniques/polycliniques,
- 384 cabinets de soins,
- 12 laboratoires d’analyses médicales agréés dont le Centre Pasteur constitue la référence,
- 5 fabricants de médicaments,
- 14 grossistes,
- 331 officines (181 à Yaoundé et Douala),
- 1 Centrale Nationale d’Approvisionnement en Médicaments et Consommables médicaux Essentiels,
- 10 centres d’approvisionnement pharmaceutiques régionaux (CAPR),
- 3 Facultés publiques de médecine à Yaoundé, Douala et Buéa et 1 Faculté privée de médecine (Université des Montagnes),
- 39 établissements de formation du personnel médico-sanitaire.

La couverture sanitaire par les établissements de soins de santé s’est améliorée, bien que les besoins soient encore très importants.

2.1. Organisation et fonctionnement

L’organisation du système de santé camerounais a été définie en 1989 par le Ministère de la Santé Publique par le décret N°89/011. Le Ministère de la Santé Publique est garant de la conception et de la mise en œuvre de la politique en matière de santé. A ce titre, il :

- élabore les stratégies de mise en œuvre de la politique de santé ;
- assure l’organisation, le développement et le contrôle technique des services et formations sanitaires publics et privés ;
- contrôle l’exercice des professions de la santé ;
- assure la tutelle des ordres professionnels correspondants et des organismes de santé publique ;
- élabore et met en œuvre le plan de formation des personnels en service au Ministère de la Santé Publique ;
- concourt à la formation et au recyclage permanent des personnels des corps de la santé publique ;
- gère les établissements publics sanitaires ;
- concourt à la promotion de la coopération en matière de santé ;
- gère la carrière des agents publics en service au Ministère de la Santé Publique ;
- prépare lesdits agents ;
- veille au respect de la carte sanitaire nationale et à sa mise à jour.

2.2. Les intervenants dans le secteur de la santé

Le secteur de la santé s'articule autour de trois sous-secteurs : le sous-secteur public, le sous-secteur privé et celui de la médecine traditionnelle. Les intervenants dans le secteur de santé demeurent l'Etat, les ménages/communautés, les Organisations de la Société Civile (OSC), le privé, les tradipraticiens et les partenaires techniques et financiers.

Les intervenants en matière de santé au Cameroun travaillent au sein d'un système structuré en trois niveaux : central, intermédiaire et périphérique. Chaque niveau a des fonctions spécifiques et dispose de structures administratives, de structures de soins et de structures de dialogue.

Le tableau 1.2 montre les différents niveaux. Le sous-secteur public regroupe toutes les institutions sanitaires publiques et parapubliques y compris celles gérées par d'autres départements ministériels : la Défense, l'Emploi et le Travail, les Affaires sociales, la Condition féminine et l'Éducation nationale.

Il est organisé suivant une structure pyramidale avec au sommet des hôpitaux de 1ère catégorie, suivis des hôpitaux de 2ème catégorie et régionaux qui coiffent chacun plusieurs hôpitaux de district. Ce sous-secteur est peu performant à cause du délabrement des infrastructures, de la vétusté des équipements et de l'insuffisance des ressources humaines.

Le sous-secteur privé occupe une place très importante au Cameroun. Il regroupe les institutions sanitaires à but non lucratif (confessions religieuses, associations et ONG) et celles à but lucratif. Ce sous-secteur échappe quelque peu au contrôle des autorités sanitaires à tous les niveaux et leurs données statistiques ne sont pas suffisamment intégrées dans le système national d'information sanitaire.

La médecine traditionnelle constitue le troisième sous-secteur, même s'il n'est pas encore réglementé. Toutefois, on relève, en vue de la promotion de cette médecine, de nombreuses actions de l'État : création d'un service en charge de la médecine traditionnelle au Ministère de la Santé, création du Centre de Recherche sur les Plantes médicinales et la Médecine traditionnelle (CRPMT/IMPM), l'élaboration d'un cadre juridique en cours d'adoption et l'incitation à l'organisation des tradipraticiens en association.

Niveau	Structures administratives	Compétences	Structures de soins	Structures de dialogue
Central	Services Centraux du Ministère de la Santé Publique	-Elaboration des concepts, de la politique et des stratégies - Coordination - Régulation	Hôpitaux Généraux et Hôpitaux Gynéco-Obstétriques de référence, Centre Hospitalier et Universitaire, Hôpitaux Centraux	Conseils d'Administration ou Comités de gestion
Intermédiaire	Délégations Régionales	Appui technique aux <i>districts de santé</i>	Hôpitaux Régionaux et assimilés	Fonds Spéciaux Régionaux pour la promotion de la santé
Périphérique	Services de Santé de District	Mise en œuvre des programmes nationaux	Hôpitaux de District, Centres Médicaux d'Arrondissement, Centres de santé	COSADI COGEDI COSA COGE

Tableau 1.2 : Les différents niveaux du système national de santé public (INS/PETS2, 2010)

COSADI : *COmité de Santé du DIstrict*

COGEDI : *COmité de GEstion du DIstrict*

COSA : *COmité de Santé de l'aire*

COGE : *COmité de GEstion*

2.3. Les problèmes dans le système de santé camerounais

Dans l'ouvrage intitulé « Planification sanitaire et ajustement structurel au Cameroun », (Kamdoum, 1994) présente un certain nombre de problèmes, dont il attribue les conséquences négatives suivantes à l'offre de santé et à la mise en œuvre du Plan d'Ajustement Structurel (PAS) :

- la détérioration de l'encadrement sanitaire,
- la stagnation de la qualité des prestations de services sanitaires,
- les services de santé rendus inaccessibles à certaines couches de la population avec l'instauration systématique des soins payants,
- la hausse des prix de médicaments essentiels de 50 à 65% et de plus de 65% pour les autres à cause de la dévaluation,
- le mauvais fonctionnement des services de santé suite au manque du personnel et son insuffisante formation,
- la vétusté des équipements dans la plupart des blocs opératoires,
- le mauvais fonctionnement des blocs opératoires,

- la mauvaise politique de maintenance des équipements.

Parmi ces problèmes énoncés, nous avons décidé de nous focaliser sur les problèmes de la vétusté des équipements dans les blocs opératoires et le mauvais fonctionnement de ces blocs.

3. Les blocs opératoires

Le bloc opératoire est un lieu hautement stratégique du plateau technique parce qu'il implique presque toutes les activités des secteurs présentes dans ce plateau technique comme souligné par (Revel *et al.*, 2003). Le bloc opératoire est à l'interface de nombreuses activités : chirurgie, obstétrique, anesthésie, explorations fonctionnelles, radiologie et biologie.

La gestion des blocs opératoires est actuellement l'objet de multiples questionnements, aussi bien sur le court terme que sur le long terme. Elle se heurte en effet aux problèmes difficiles d'emploi des ressources aussi bien humaines que matérielles, qui sont aujourd'hui toutes deux disponibles en capacité finie (Fei, 2006).

Le bloc opératoire est composé de salles opératoires et de salles de réveil, encore appelées Salles de Surveillance Post-Interventionnelle (SSPI).

Avant de parler du fonctionnement des blocs opératoires en France et au Cameroun, nous définissons la programmation et la planification opératoires.

La programmation opératoire

Nous revenons sur la définition proposée par (Meskens *et al.*, 2007) qui considèrent que la gestion du bloc opératoire est basée sur la programmation opératoire.

Selon les auteurs : « la programmation opératoire, appelée «waitlist management » ou «surgicalprocess management » dans la littérature anglo-saxonne, consiste à construire un planning prévisionnel des interventions chirurgicales à réaliser pendant une période, généralement une semaine, à partir des demandes émanant des services chirurgicaux et des prescripteurs externes ».

Dans le but de réaliser un programme opératoire optimal, (Hamilton and Breslawki, 1994) proposent les paramètres et contraintes suivants comme étant les plus importants à prendre en considération :

- le nombre des salles d'opération disponibles chaque jour : il dépend de la taille de l'hôpital, de la disponibilité des infirmières et d'autres facteurs,
- le nombre d'équipements chirurgicaux spécialisés : beaucoup d'opérations ont besoin d'équipements spécialisés et il est de la responsabilité du responsable de bloc d'assurer la disponibilité de l'équipement demandé,
- les plages horaires disponibles réservées aux chirurgiens : pour une intervention acceptée, il doit y avoir assez de disponibilité pour placer ladite intervention,

- les politiques de la programmation opératoire dans un hôpital : celles-ci peuvent différer d'un hôpital à l'autre. Par exemple, certains souhaitent réserver les plages horaires aux chirurgiens à l'avance, alors que d'autres peuvent adopter l'approche d'organiser les plages horaires selon l'ordre des demandes,
- les durées opératoires estimées : les durées opératoires des interventions sont variées, même si l'on procède au même type d'intervention. La durée dépend entre autres du profil du patient (âge, antécédents, etc.). Une des principales difficultés est donc d'arriver à estimer correctement les durées pour éviter la sous ou sur utilisation des blocs opératoires,
- les heures d'ouverture et de fermeture régulières des blocs opératoires : les blocs opératoires ont normalement des programmes opératoires hebdomadaires ou mensuels avec des plages horaires disponibles. Les programmes opératoires devront respecter les heures d'ouverture et de fermeture régulières des blocs opératoires car sinon il y a des coûts de pénalité,
- la disponibilité des anesthésistes : dans de nombreux hôpitaux commence à se faire sentir un manque d'anesthésistes. Les programmes opératoires doivent aussi respecter cette contrainte,
- la limitation des salles liées aux équipements chirurgicaux : les équipements sont habituellement assignés aux salles d'opération qui les réservent. Mais, quelques équipements chirurgicaux font partie intégrante de la salle d'opération et ne peuvent donc être déplacés,
- L'heure de départ du bloc opératoire assignée aux chirurgiens : les chirurgiens sont habituellement assignés à une heure d'arrivée au bloc pour effectuer les interventions. Si un jour donné dans une salle, l'on remplace un chirurgien par un autre, l'heure d'arrivée du prochain chirurgien dans ladite salle va dépendre de l'heure de fin d'intervention de son prédécesseur ;
- les heures supplémentaires possibles des salles d'opération.

(Blake and Carter, 1997a, 1997b) ont ajouté un autre élément : la prise en compte des ressources extérieures. Ces dernières représentant toutes les ressources nécessaires pour les interventions, mais émanant des fournisseurs externes à l'hôpital, à l'instar des équipements chirurgicaux (exemple : bistouri) et les autres matériels médicaux (exemple : boîte à gants).

La planification opératoire

Il existe plusieurs définitions de la planification opératoire dans la littérature. Nous avons retenu celle proposée par (Chaabane et al., 2007), qui considère que la planification du bloc opératoire est d'affecter à chaque intervention une salle d'opération et soit, une plage horaire (appelée aussi créneau horaire) dans le cas d'une programmation par allocation préalable des plages ou Block Scheduling (BS) soit, une journée d'intervention dans le cas d'une programmation ouverte ou Open Scheduling (OS). Les définitions des stratégies Open Scheduling et Block Scheduling sont données dans la suite de ce chapitre.

3.1. Fonctionnement des blocs opératoires français

Avant de s'intéresser aux blocs opératoires, nous donnons quelques définitions :

- une **salle dédiée** : est une salle réservée à un seul type d'intervention chirurgicale ou encore à une seule spécialité.
- une **salle polyvalente** : est une salle pouvant accueillir tous les types d'intervention chirurgicale correspondant à toutes les spécialités.

Dans la plupart des hôpitaux français, le bloc opératoire est doté d'un nombre important de salles dédiées et de salles polyvalentes. Plusieurs spécialités sont considérées. Toutes les salles sont fournies d'équipements neufs ou encore en très bon état. Les gestionnaires des blocs ne planifient pas les interventions dans toutes les salles un jour donné. Ceci a pour avantage, d'accueillir les cas urgents, ou de pouvoir transférer le patient vers une autre salle en cas de défaillance d'un équipement dans une salle programmée.

La maintenance des équipements est très souvent assurée par les fabricants des équipements. La pratique de la maintenance de nuit est presque de règle. Une modeste équipe de maintenance est présente le jour pour l'entretien et le suivi des équipements. Le rôle de cette équipe est aussi de saisir les fabricants en cas de problème sur leurs équipements respectifs. Le fonctionnement quotidien de ces blocs est basé sur l'une des stratégies de programmation opératoire rencontrées dans la littérature. (Patterson, 1996 ; Kharraja, 2003 ; Chaabane *et al.*, 2008 ; Hanset, 2010) relèvent trois modèles de programmation opératoire :

- la programmation ouverte ou Open Scheduling (OS) ;
- la programmation par allocation de plages ou Block Scheduling (BS) ;
- la programmation par allocation de plages avec ajustement ou Modified Block Scheduling (MBS).

Pour mieux expliquer les trois modèles, nous donnons les définitions reprises par (Fei, 2006) et (Hanset, 2010) dans leurs travaux de thèse.

3.1.1. La programmation ouverte ou Open Scheduling (OS)

La programmation ouverte est une programmation opératoire qui consiste à construire les plannings d'allocation des interventions chirurgicales pour une période de planification sans tenir compte des préférences des chirurgiens.

Plusieurs auteurs (Fei *et al.*, 2005), (Jebali *et al.*, 2006), (Chaabane *et al.*, 2007), (Hans *et al.*, 2008), (Chaabane *et al.*, 2008), (Fei *et al.*, 2010), (Rodier, 2010), (Aniba et Jebali., 2011), (Agnētis *et al.*, 2012), (Bouguerra *et al.*, 2015), (Pariante *et al.*, 2015) ont traité la problématique de la planification opératoire avec la stratégie Open Scheduling.

Deux approches (Kharraja, 2003) sont appliquées dans les hôpitaux pratiquant ce type de programmation pour gérer le planning d'allocation des interventions dans un hôpital : la règle du FCFS (« First Come First Served », premier arrivé premier servi) (Patterson, 1996) et la négociation entre les acteurs.

Premier arrivé premier servi ou (First Come First Served dans la littérature anglo-saxonne)

Cette approche d'allocation des interventions se fait de manière chronologique durant toute la période de construction du planning. Il s'agit d'un « agenda collectif » (Kharraja, 2003) qui doit être connecté à un système d'information qui collecte les données sur les durées des interventions réalisées par type et par chirurgien et qui servira à estimer les durées d'opération des interventions à réaliser.

Négociation entre les acteurs

Le programme peut s'élaborer normalement sous la direction du responsable du bloc opératoire suivant un processus de négociation entre les différents acteurs. La figure 1.1 est une illustration du planning Open Scheduling.

	LUNDI					MARDI				
	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16
SALLE 1	CH1	CH1		CH2			CH4	CH4		
SALLE 2		CH4	CH4		CH1	CH2	CH2		CH5	CH5
SALLE 3	CH3	CH2		CH5			CH3	CH3		
SALLE 4		CH5		CH3			CH1	CH1	CH1	

Figure 1.1 : Un exemple de planning OS de 2 jours

3.1.2. La programmation par allocation de plages ou Block Scheduling (BS)

Le Block Scheduling est un planning où l'allocation de plages horaires a été définie pour certains services et/ou certains chirurgiens. Il s'agit alors de construire un assemblage de blocs selon les disponibilités et les préférences des services. Dans le jargon hospitalier, on parle de « *Master Surgical Schedule* » ou encore de plan directeur d'allocation (PDA). Il sera revu régulièrement pour vérifier son adéquation aux besoins des services. En général, un comité composé de chirurgiens et de membres administratifs effectue cette tâche.

Chaque chirurgien place à sa convenance ses interventions aux différentes plages qui lui ont été attribuées. (Kharraja *et al.*, 2004, 2006), (Kharraja *et al.*, 2006) et (Chaabane *et al.*, 2008) ont réalisé des plannings opératoires avec la stratégie de Block Scheduling.

L'avantage principal de cette technique réside dans le fait que le responsable du bloc n'a plus à résoudre le problème d'ordonnancement, sa mission consistant à vérifier que les plages ne sont pas surchargées (Hammami *et al.*, 2007). Une fois les plages horaires affectées à un chirurgien pour une période donnée, elles ne peuvent plus être modifiées, seulement lors des négociations entre chirurgiens ou avec le responsable du bloc opératoire.

La figure 1.2 est une illustration du planning BS, où les plages horaires dans les salles sont allouées aux chirurgiens. Les chirurgiens ont l'obligation de respecter le temps imparti dans les différentes plages qui leur sont confiées.

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

Figure 1.2 : Un exemple de planning des lundis et mardis pour les salles d'opération d'un BO

3.1.3. La programmation par allocation de plages avec ajustement ou Modified Block Scheduling (MBS)

La programmation par allocation de plages avec ajustement est une combinaison des stratégies de Block Scheduling et de Open Scheduling. Cette stratégie s'appuie globalement sur les principes de Block Scheduling, expliqués plus haut, mais en offrant plus de flexibilité du fait de sa prise en compte de plusieurs facteurs :

- des plages horaires libres pour résorber d'éventuels dépassements horaires ou surcharge de travail. Généralement, ces plages sont affectées comme pour la stratégie de Open Scheduling par la négociation entre les chirurgiens et le responsable du bloc ;
- la possibilité pour un chirurgien de céder une plage horaire ou une partie inutilisée de la plage à d'autres chirurgiens. Si un chirurgien ou une unité chirurgicale n'utilise pas suffisamment ses plages horaires réservées dans une période convenue, il n'a plus de priorité sur ces plages horaires et le responsable du bloc peut alors les ajuster pour en faire bénéficier d'autres chirurgiens ou unités chirurgicales (Malhorta, 2001). Le processus d'ajustement permet d'augmenter le taux de remplissage des plages horaires.

La figure 1.3 est une illustration du planning MBS, où le chirurgien 5 n'utilisera pas toute sa plage le lundi dans la salle 1, la partie inutilisée de sa plage, encore appelée plage fictive (PF) sera confiée au chirurgien 1 à partir de 12h par le responsable du bloc. Le chirurgien 3 dans la salle 2 le lundi, a une plage horaire libre qui pourra résorber un éventuel dépassement horaire après 16h. dans la salle 3 le mardi, le chirurgien 2 ne pourra utiliser le dernier créneau de sa plage, laquelle sera allouée au chirurgien 4 à partir de 14h.

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

Figure 1.3 : Ajustement des plages horaires des chirurgiens

3.2. Fonctionnement des blocs opératoires camerounais

Comme en France, les blocs opératoires dans les hôpitaux camerounais comportent différentes salles d'opération en nombre modeste par rapport au nombre de patients. Le fonctionnement des blocs n'a pas une stratégie arrêtée par la hiérarchie, mais est plutôt définie par les responsables de chaque centre hospitalier. La stratégie de Open Scheduling est la plus appliquée.

La plupart des blocs opératoires sont dotés d'équipements d'occasion. Les fabricants desdits équipements ne sont pas à proximité. Leurs pièces de rechange sont introuvables sur le marché local, ce qui entraîne une longue période d'indisponibilité des équipements en cas de pannes.

Les interventions de maintenance dans le bloc opératoire ne sont pas planifiées. Le conseil du bloc se tient le vendredi pour la construction du planning opératoire de la semaine suivante, en l'absence d'un représentant du service de maintenance.

Le service de maintenance est réactif par rapport aux pannes, car il n'est saisi que lorsqu'une panne survient sur un équipement dans une salle un jour donné. L'exécution des interventions chirurgicales est prioritaire dans les salles opératoires. Cependant, dans le contexte camerounais, où le taux de défaillance des équipements est élevé dans les blocs opératoires, il est difficile de construire le planning opératoire sans tenir compte du fait que la plupart des équipements dans les salles se retrouvent en période de vieillesse de leurs cycles respectifs.

Avec de modestes équipes de maintenance, composées de techniciens formés sur le tas et qui n'interviennent pas la nuit quand le bloc opératoire est fermé, il serait souhaitable pour ces équipes d'anticiper sur les pannes en adoptant une stratégie basée plus sur la maintenance préventive.

Cette politique de maintenance aura pour avantage, d'anticiper sur les éventuelles pannes, ainsi que sur l'approvisionnement de certaines pièces de rechange aux délais de livraison importants, ce qui pourrait réduire la durée d'indisponibilité de certains équipements. Pour toutes ces raisons évoquées, un accent particulier sur la maintenance des blocs opératoires des hôpitaux camerounais doit être un impératif pour l'amélioration du fonctionnement des blocs et de la prise en charge des patients.

La différence est considérable entre les blocs opératoires des centres hospitaliers du Cameroun et de la France. Nous pouvons citer quelques problèmes identifiés :

- vétusté des équipements,
- inexistence de contrat de maintenance entre les centres hospitaliers et les fabricants d'équipements,
- absence de politique de maintenance adaptée au contexte,
- durée d'indisponibilité importante des équipements,
- intervention de maintenance uniquement le jour,
- application de la maintenance curative,
- non disponibilité des pièces de rechange critiques sur le marché local.

4. La fonction maintenance

Pour mieux comprendre les enjeux du domaine de la maintenance, nous donnons les définitions des concepts de maintenance de la norme européenne AFNOR NF EN 13306 (AFNOR, 2001), repris par (Géhan, 2014) dans ses travaux de thèse.

4.1. Définition de la maintenance

La norme citée précédemment définit la maintenance comme : « Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». La maintenance regroupe des actions suivantes:

- des actions préventives du système : visite et contrôle du système de production ;
- des actions curatives : dépannage, réparation, réglage, révision.

La réalisation des activités de maintenance nécessite un management de celles-ci. Celui-ci est défini comme « toutes les activités des instances de direction qui déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance et qui les mettent en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance, l'amélioration des méthodes dans l'entreprise, y compris dans les aspects économiques ».

Les objectifs du management de la maintenance seront d'en minimiser les coûts tout en assurant le bon fonctionnement du système de production. Ce bon fonctionnement peut être perturbé par plusieurs facteurs, dont une des causes majeures est la dégradation du système de production.

4.2. Les stratégies de maintenance

On différencie d'habitude deux classes de stratégies de maintenance en fonction de l'apparition ou de l'occurrence de la défaillance : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

4.2.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective est exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. Elle est la stratégie possédant la règle de décision la plus simple : attendre le constat de la défaillance.

4.2.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive est exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

L'occurrence d'une défaillance peut engendrer une perte de performance totale. La prévention permet d'éviter cette situation en maîtrisant le moment et l'état du système lors de l'intervention de maintenance préventive. Par rapport à la performance globale, les situations à risques sont mieux maîtrisées, ainsi que les pertes économiques par le contrôle du calendrier de maintenance permettant de mieux gérer (en termes de gestion des stocks de pièces, du personnel, des actions de maintenance...).

4.2.2.1. Maintenance systématique

La maintenance systématique est une maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

Elle utilise, comme indicateur, des informations provenant du contexte opérationnel (temps d'utilisation ou nombre de cycles) généralement fournies par les processus de management de l'utilisation. L'opération de maintenance est réalisée lorsque cet indicateur atteint une limite prédéfinie (seuil). L'étude des données et historiques des matériels équivalents permet ainsi de faire un lien entre occurrence de défaillances et conditions d'usage.

4.2.2.2. Maintenance conditionnelle

C'est une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

C'est une stratégie de maintenance qui propose des règles de décision subordonnées aux niveaux d'indicateurs. Ces indicateurs mesurés directement sur le système pendant son fonctionnement ou obtenus par traitement de mesures sont supposés représentatifs du niveau de dégradation. Cette stratégie s'appuie donc sur la dégradation du matériel et non sur sa défaillance. Elle permet de déclencher l'opération de maintenance lors du franchissement d'un seuil qui représente le niveau de dégradation maximal tolérable par un indicateur.

Parmi toutes ces stratégies de maintenance présentées, il s'avère que celle qui est la plus appliquée dans la plupart des hôpitaux camerounais est la maintenance corrective ou curative.

5. Notre problématique

Avant de rentrer dans la problématique proprement dite, nous commençons par présenter brièvement l'Hôpital Laquintinie de Douala (l'HLD), mais beaucoup plus son bloc opératoire qui est le cadre de notre travail.

5.1. Présentation du mode de fonctionnement actuel du BO de l'HLD

Créé en 1931, l'hôpital est baptisé Laquintinie en 1941 en l'honneur de Jean Auguste Laquintinie, son premier médecin chef. Bâti sur 9 hectares, il compte 40 pavillons pour 800 personnels, 700 lits dont 500 sont fonctionnels. Il reçoit plus de 150 000 patients par an.

Le bloc opératoire (BO) de l'HLD est composé de six salles dotées d'équipements. Les spécialités propres à ces salles sont les suivantes :

- S1: chirurgie viscérale et urologie,
- S2: chirurgie orthopédique,
- S3: chirurgie orthopédique et neurologie,
- S4: chirurgie endoscopique,
- S5: urgences viscérales,
- S6: urgences orthopédiques et traumatologiques.

Les salles S5 et S6 sont réservées aux urgences et peuvent être planifiées pour d'autres patients, mais les urgences restent prioritaires. Elles sont ouvertes 24h sur 24h. Les autres salles sont ouvertes de 8h à 16h. Chaque salle est dotée d'un personnel fixe composé de :

- 2 infirmiers,
- 1 instrumentiste (IT),
- 1 panseur,
- 1 infirmier anesthésiste (IA),
- 1 chef d'équipe (encore appelé major) est le coordonnateur.

Si la salle n'est pas en service, son personnel est mis à la disposition d'autres unités du centre hospitalier. Pour chaque IC, ce groupe de personnes est complété par :

- Le chirurgien,
- Le médecin anesthésiste (MA).

Le bloc opératoire dispose de 14 chirurgiens, donc 3 pour la chirurgie viscérale, 1 urologue, 3 orthopédistes, 1 neurochirurgien vacataire (ne faisant pas partie du personnel permanent de l'hôpital). 3 ORL, 2 cancérologues et 1 chirurgien pédiatre. Les orthopédistes interviennent de préférence dans les salles S2 et S3. Les urologues interviennent dans la salle S1. Le neurochirurgien intervient dans la salle 3. La chirurgie viscérale s'effectue en salle S1.

Le BO a 2 médecins anesthésistes. Chacun d'eux couvre plus d'une salle, un jour donné. A la fin d'une IC, l'ensemble du personnel dispose d'une période de repos de 25 minutes, durée correspondant au temps de décontamination moyen. La décontamination est effectuée par une équipe spécifique.

Le BO a à sa tête un responsable qui est chargé de la gestion. Il préside le conseil du bloc chaque vendredi pour élaborer le programme opératoire de la semaine suivante. Dans la semaine, chaque chirurgien a un jour de repos et dispose d'un planning qui définit son temps de travail réglementaire tenant compte des temps de pause et des congés. L'horizon de planification est d'une semaine et peut être prolongée à deux semaines. Le BO réalise entre 80 et 100 interventions chirurgicales (IC) par semaine.

La maintenance des équipements du BO est assurée par une modeste équipe de techniciens, pratiquant la maintenance du jour. Ces techniciens ne sont pas pour la plupart formés à la maintenance des équipements biomédicaux. Ils rencontrent des difficultés dans leurs interventions avec la fréquence des pannes, l'absence d'outils de diagnostic et surtout du manque des pièces de rechange des équipements acquis sous forme de legs ou de dons.

Cependant, avec l'état des équipements que l'on y trouve, l'importance doit être accordée à la maintenance. Les techniciens ne sont sollicités par le responsable du BO pour une intervention de maintenance (IM) que lorsqu'une panne survient sur un équipement. La maintenance préventive n'est pas pratiquée actuellement.

Nous comptons pour cela, proposer un outil d'aide à la décision, qui permettra au responsable du bloc opératoire, de construire un planning opératoire pendant les séances du bloc, qui prendra en compte d'une part les interventions chirurgicales IC, et d'autre part les interventions de maintenance IM préventive issues du service de maintenance.

5.2. Proposition d'un outil d'aide à la décision

Les problèmes de fonctionnement énoncés dans la sous-section 3.2 de ce chapitre, de la plupart des blocs opératoires camerounais étant connus, la direction de l'Hôpital Laquintinie de Douala (HLD) a émis le besoin d'un outil d'aide à la décision pour la gestion de son bloc opératoire. L'outil permettra de construire le planning opératoire en prenant en compte les interventions chirurgicales (IC) et les interventions de maintenance (IM). Il est question de changer de stratégie de maintenance en mettant l'accent sur les interventions préventives, en anticipant sur les pannes afin de réduire le nombre de ces dernières.

Comme évoqué à l'introduction de ce chapitre, l'objectif du travail n'est pas d'importer pour le compte de l'HLD, le mode de fonctionnement des blocs opératoires français, faute de moyens à l'HLD, ce n'est pas possible. Mais, il faut choisir une stratégie de programmation opératoire et l'adapter à notre contexte en y ajoutant la composante de la maintenance par rapport à l'état des équipements présents dans les blocs opératoires camerounais et à la fréquence de leurs pannes.

Dans ce travail, pour la construction du planning opératoire, nous considérons les salles d'opération, les interventions chirurgicales (IC) et les interventions de maintenance (IM). Les durées des différentes interventions sont connues. L'horizon de planification est la semaine. Les IC et IM sont affectées dans les dans les salles d'opération dans le but de minimiser le nombre d'IC non affectées.

Le planning opératoire est construit à partir des stratégies de programmation opératoire définies précédemment, à savoir :

- la programmation ouverte ou Open Scheduling (OS)
- la programmation par allocation des plages horaires ou Block Scheduling (BS)

Dans la stratégie Open Scheduling, toutes les salles sont considérées comme polyvalentes, c'est-à-dire qu'elles peuvent accueillir tout type d'intervention chirurgicale. Cette stratégie de programmation du bloc opératoire s'effectue sur un programme a priori vide de toute décision antérieure. Elle ne tient pas compte des préférences des différents acteurs. Le planning est libéré de toutes contraintes.

Avec la stratégie de Block Scheduling par contre, toutes les salles sont considérées comme dédiées. Dans ce cas la spécialité des salles est prise en compte. Ici, les salles d'opération sont divisées en plages horaires. Ces dernières sont préalablement allouées aux chirurgiens considérés. Les chirurgiens sont à travers leurs plages horaires indirectement pris en compte. Deux cas sont considérés dans l'affectation des IC pour chacune des deux stratégies.

Nous allons d'abord considérer dans un premier temps, que l'intervention de maintenance préventive prévue dans une salle un jour, a une heure de début fixée. Ce cas est considéré dans ce manuscrit comme une maintenance fixée. Cette intervention de maintenance va précéder l'affectation des interventions chirurgicales dans la salle. L'intervention de maintenance sera une contrainte pour les interventions chirurgicales.

Par la suite, nous considérons que l'intervention de maintenance préventive prévue dans une salle un jour, a une heure de début variable ou flexible. L'heure de début de l'intervention de maintenance varie entre l'heure de début minimum et l'heure de début maximum. Les heures de début minimum et maximum encadrant l'heure de début de la maintenance fixe. Contrairement à la maintenance fixée, l'intervention de maintenance sera simultanément affectée avec des interventions chirurgicales dans la salle. Cette intervention de maintenance doit être réalisée dans un créneau horaire compris entre l'heure de début minimum et l'heure de fin maximum.

En résumé, les quatre cas suivants sont traités :

Pour la stratégie Open Scheduling (OS)

- 1^{er} cas : OS avec l'heure de maintenance fixée,
- 2^{ème} cas : OS avec l'heure de maintenance variable.

Pour la stratégie Block Scheduling (BS)

- 3^{ème} cas : BS avec l'heure de maintenance fixée,
- 4^{ème} cas : BS avec l'heure de maintenance variable.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les systèmes de santé publics du Cameroun et de la France. Les problèmes du système camerounais ont été évoqués et sont toujours d'actualité. La présentation des blocs opératoires des deux pays a été effectuée, et les différences identifiées. Nous avons consacré une section à la maintenance et à ses différentes stratégies.

Depuis plusieurs années, la littérature scientifique traite la planification du BO dans un centre hospitalier. Dans le contexte de l'HLD, le BO fonctionne avec des équipements se trouvant dans leur période de fin de vie pour la plupart. Par conséquent, la problématique de la planification du BO ne concerne plus uniquement l'affectation des interventions chirurgicales dans les salles dans un horizon temporel donné.

Nous avons choisi de nous inspirer du fonctionnement des blocs opératoires français pour adapter à celui de l'HLD en mettant un accent particulier à la maintenance, à cause de l'état des équipements. Pour cela, nous proposons un outil d'aide à la décision, qui puisse permettre au responsable du bloc de construire le planning opératoire du bloc, dans un horizon d'une semaine, en tenant compte non seulement des interventions chirurgicales mais aussi des IM préventives sur les équipements fixes installés dans les salles. Le chapitre suivant présente un état de l'art sur la planification opératoire.

Chapitre 2

Etat de l'art : revue de la littérature et des logiciels

Introduction	28
1. Proposition d'une classification et d'une notation	29
1.1. Classification	29
1.2. Notation	30
1.2.1. Champ α	30
1.2.2. Champ β	30
1.2.3. Champ γ	31
2. Revue de la littérature.....	32
2.1. Classification.....	32
2.2. Synthèse pour le champ α	34
2.3. Synthèse pour le champ β	36
2.4. Synthèse pour le champ γ	37
2.5. Méthodes utilisées.....	39
2.6. Conclusion de la revue de la littérature.....	41
3. Les principaux logiciels sur le marché pour la gestion des blocs opératoires.....	41
4. Quelques travaux traitant la production et la maintenance en milieu industriel...	41
Conclusion	47

Introduction

Bien que la gestion du bloc opératoire (BO) ait fait l'objet de nombreuses recherches, celle-ci est toujours d'actualité, car le BO reste un lieu stratégique pour les gestionnaires hospitaliers. Sa gestion fait donc l'objet de plusieurs questionnements à court, à moyen et à long terme, sur le plan de la construction d'un programme opératoire. La littérature traitée s'intéresse uniquement à la problématique de la planification opératoire.

L'objectif est de réaliser un état de l'art sur les problèmes rencontrés dans la gestion des blocs opératoires relatifs aux différentes constructions des plannings opératoires. Pour structurer notre travail, nous proposons une classification suivant le type de ressources considérées.

Ce chapitre est structuré de la manière suivante. Nous proposons une classification et une notation en relation avec le problème de planification opératoire. Les modèles de la littérature sont présentés suivant la classification et la notation proposées. Ensuite, nous proposons une classification des articles ayant traité la problématique évoquée plus haut par rapport aux ressources considérés dans les modèles. Nous présentons par la suite les méthodes de résolution proposées par la littérature. Les principaux logiciels présents sur le marché pour la gestion des blocs opératoires sont également présentés. Une synthèse de quelques travaux traitant la production et la maintenance en milieu industriel est également proposée.

1. Proposition d'une classification et d'une notation

Cette partie aborde la classification et la notation proposées pour le problème de planification opératoire.

1.1. Classification

Cette classification est réalisée suivant les ressources considérées dans la construction du planning opératoire. Nous abordons en premier lieu les modèles qui considèrent uniquement un type de ressource : les salles d'opération (S). En second lieu, nous nous intéressons aux modèles qui intègrent deux types de ressources : les salles et les chirurgiens (SC), les salles et les équipements (SE). En dernier lieu, nous abordons les modèles qui considèrent les salles, les chirurgiens et les équipements (SCE).

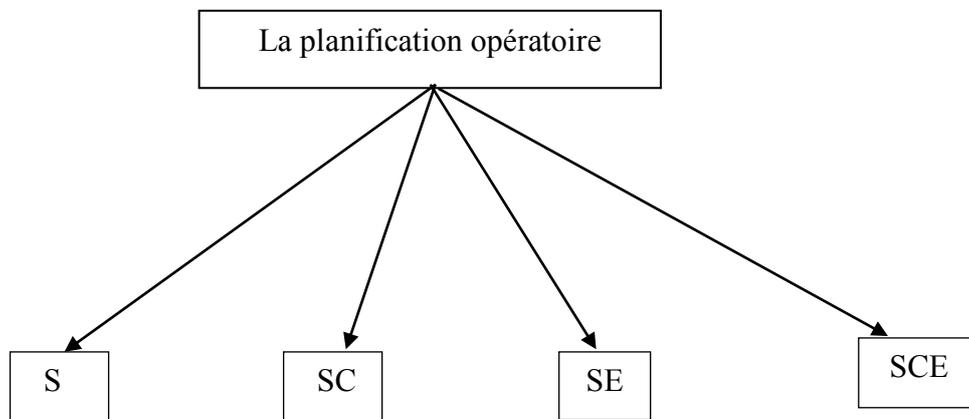


Figure 2.1 : Classification

Dans cette classification, les auteurs du premier groupe considérant les salles supposent que toutes les autres ressources nécessaires dans la construction du planning opératoire sont disponibles en nombre suffisant. Dans le second groupe, les auteurs ont considéré les salles et les chirurgiens. Ce qui signifie que la disponibilité des chirurgiens est différente de celle des salles. Les chirurgiens ne sont donc pas tout le temps disponibles. Dans le troisième groupe rencontré dans la littérature étudiée les auteurs considèrent les salles et l'équipement. Ils ont supposé que ce dernier n'est pas tout le temps disponible. Le quatrième groupe de notre classification est celui des auteurs ayant pris en considération les salles, les chirurgiens et les équipements dans la construction du planning opératoire. Les chirurgiens et les équipements ont dans ce cas des disponibilités différentes de celle des salles d'opération.

1.2. Notation

La notation proposée pour la planification opératoire, établie sur trois champs est similaire à celle des travaux de (Graham *et al.*, 1979) pour les problèmes d'ordonnancement. Le premier champ noté α , est la description de la structure considérée, c'est-à-dire les caractéristiques des salles d'opération, des chirurgiens et des équipements. Le second champ, noté β , décrit les règles de gestion qui régissent le modèle, c'est-à-dire les règles qui établissent l'interaction entre les IC et les différentes ressources. Le troisième champ, noté γ , décrit les objectifs considérés.

1.2.1. Champ α : structure

- Sm** : le nombre de salles : m correspond au nombre de salles du bloc opératoire.
- Cm** : le nombre de chirurgiens : m correspond au nombre de chirurgiens intervenant dans le bloc opératoire ;
- Em** : le nombre d'équipements : m indique le nombre d'équipements du bloc Opératoire ;
- PlanningE** : la disponibilité des équipements est différente du planning des salles ;
- PlanningC** : la disponibilité des chirurgiens est différente du planning des salles ;
- ExperC** : la durée d'intervention dépend de l'expérience du chirurgien ;
- PrefC** : la préférence des chirurgiens à travailler le matin ou dans l'après-midi est prise en compte

1.2.2. Champ β : règles de gestion

Modèle de programmation (OS, BS, MBS) : trois modèles de planification opératoire sont recensés.

- OS** : Open Scheduling ou programmation ouverte ;
- BS** : Block Scheduling ou programmation avec allocation préalable des plages horaires aux chirurgiens, aux groupes chirurgicaux ou services chirurgicaux ;
- MBS** : Modified Block Scheduling ou programmation par allocation préalable avec ajustement des plages allouées ;
- NonProg** : les patients non programmés (NonProg) n'appartiennent pas à la liste des interventions programmées ou à programmer ;
- PriorP** : l'affectation du patient dans la salle à partir de la liste d'attente dépend de la priorité de son intervention ;

ChoixP : le patient a la possibilité de choisir son chirurgien.

Les différentes règles de gestion des modèles de la littérature que nous avons étudiées sont résumées dans le tableau 2.2. Le modèle de planification le plus fréquent est le modèle de programmation ouverte ou Open Scheduling. Un seul article accorde la priorité à l'affectation des patients dans la construction du planning opératoire. Trois articles accordent aux patients la possibilité de choisir leur chirurgien.

1.2.3. Champ γ : objectifs

HS : le nombre d'heures supplémentaires à minimiser;

ToccS : le taux d'occupation des salles à maximiser ;

NS : le nombre de salles d'opération à minimiser ;

NICNA : le nombre d'IC non affectées dans les salles à minimiser ;

NICA : le nombre d'IC affectées à maximiser ;

Npl : le nombre de plages allouées aux différents chirurgiens à minimiser ;

CA : le coût d'attente des patients à minimiser ;

Ct : le coût total d'intervention à minimiser ;

CSU : les coûts moyens de sous-utilisation des salles à minimiser ;

Csu : les coûts moyens de sur-utilisation des salles à minimiser ;

Cus : le coût d'utilisation des salles ;

Cso : le coût de sous-utilisation des salles ;

CNP : les coûts de non planification des patients programmés sur l'horizon de planification à minimiser;

TA : le temps d'attente entre deux interventions chirurgicales à minimiser ;

Co : le coût d'ouverture de salles pendant les heures supplémentaires à minimiser ;

EODH : écart entre offre et demande hebdomadaire de l'ensemble des chirurgiens à minimiser. C'est-à-dire la différence entre la durée d'ouverture du bloc opératoire (qui est disponible) et le nombre d'heures d'intervention exigé par l'ensemble des chirurgiens dans la semaine.

DIE : la différence entre la date de rendez-vous et la date d'intervention à minimiser ;

N_{SP} : le nombre de salles polyvalentes à minimiser ;

N_{EQ} : le nombre d'équipes nécessaires à minimiser.

Les critères pris en compte dans les différents modèles proposés dans la littérature sont récapitulés dans le tableau 2.3. La minimisation des coûts, des heures supplémentaires, du taux d'occupation des salles et du temps d'attente entre deux interventions chirurgicales reviennent le plus souvent.

2. Revue de la littérature

Dans cette partie, nous répartissons les articles de la littérature que nous avons étudiés selon la classification établie précédemment. Dans un second temps, nous donnons pour chaque article les caractéristiques des différents champs de la notation proposée. Ensuite, nous faisons la synthèse des champs α , β , γ et celle de la revue de la littérature.

2.1. Classification

Nous reprenons ici la classification présentée plus haut, et regroupons les références d'articles ayant traité la planification opératoire en fonction des ressources considérées dans les modèles. La figure 2.2 est une illustration de cette répartition. Nous avons quatre articles ayant considéré uniquement les salles, onze articles ayant pris en considération les salles et les chirurgiens, un article ayant considéré les salles et l'équipement et enfin trois articles considérant les salles, les chirurgiens et les équipements dans la construction du planning opératoire.

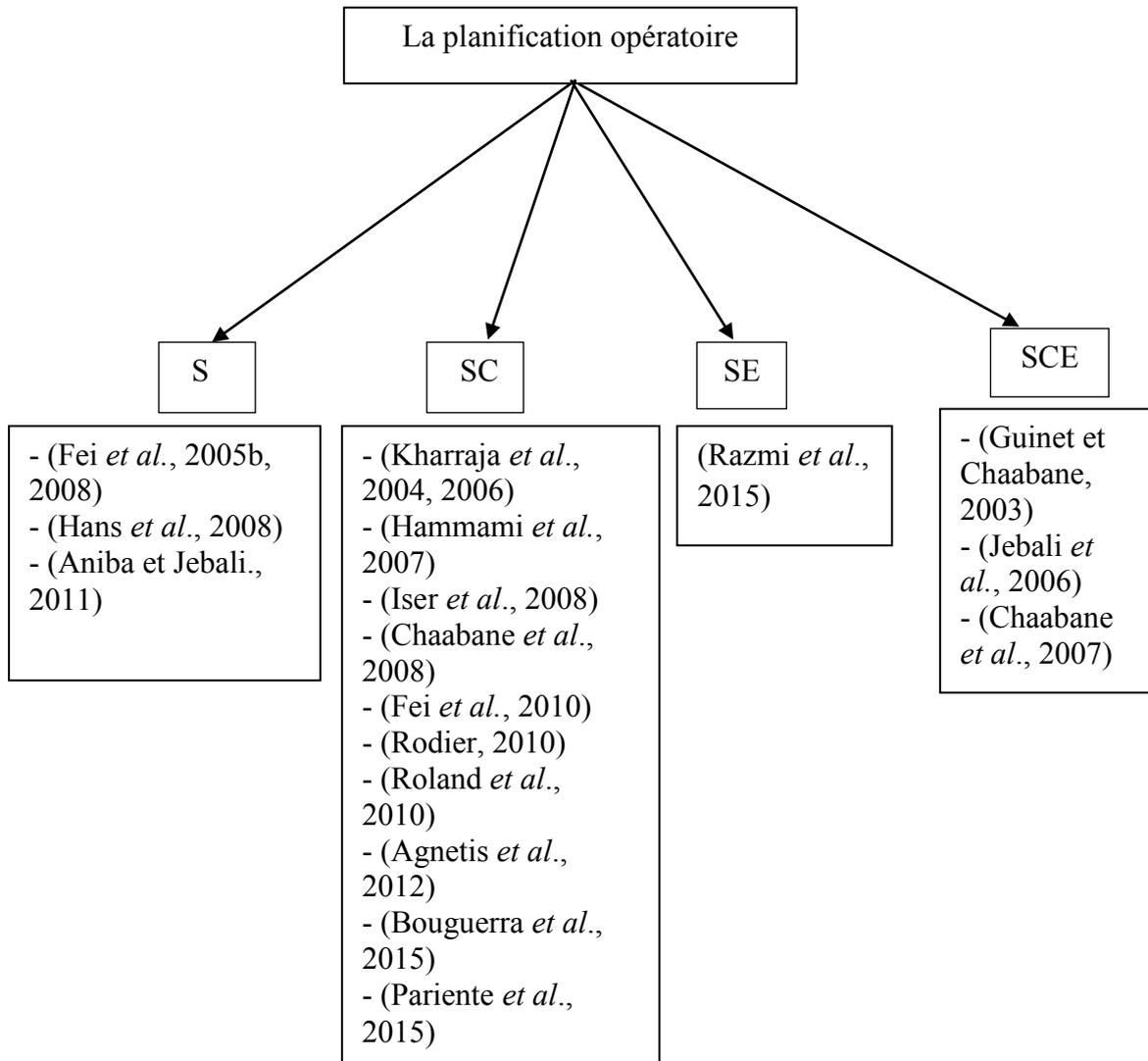


Figure 2.2 : Classification des articles par ressources considérées

Dans cette classification, les auteurs du premier groupe considérant uniquement les salles supposent que toutes les autres ressources nécessaires dans la construction du planning opératoire sont disponibles en nombre suffisant. Dans le second groupe, les auteurs ont considéré les salles et les chirurgiens. Ce qui signifie que la disponibilité des chirurgiens est différente de celle des salles. Les chirurgiens ne sont donc pas tout le temps disponibles. Dans troisième groupe considérant les salles et l'équipement, les auteurs ont supposé que ce dernier n'est pas tout le temps disponible. Le quatrième groupe de notre classification est celui des auteurs ayant pris en considération les salles, les chirurgiens et les équipements dans la construction du planning opératoire. Les chirurgiens et les équipements ont dans ce cas des disponibilités différentes de celle des salles d'opération.

2.2. Synthèse pour le champ α

Nous avons remarqué que dans le champ α les auteurs de tous les articles étudiés ont donné au moins une caractéristique de la structure considérée. Les auteurs de trois articles ont considéré l'expérience du chirurgien dans la construction du planning opératoire (Guinet et Chaabane, 2003), (Kharraja *et al.*, 2006) et (Pariante *et al.*, 2015). Un seul article considère la préférence du chirurgien dans le choix de son assistant (Roland *et al.*, 2010).

Dix-neuf articles de la littérature dont les caractéristiques sont synthétisées dans le tableau 2.1 ont été étudiés. Le signe « X » est présent dans une case si le paramètre à l'en-tête de la colonne du tableau est considéré dans l'article indiqué sur la ligne. Quatre de ces articles considèrent uniquement les salles, onze articles considèrent les salles et les chirurgiens, trois considèrent les salles, les chirurgiens et les équipements, un seul article considère les salles et les équipements.

Auteurs	Sm	Cm	Em	Chirurgien			Equipement
				PlanningC	ExperC	PrefC	PlanningE
Guinet et Chaabane, (2003)	X	X	X	X	X		X
Kharraja <i>et al.</i> , (2004)	X	X		X			
Fei <i>et al.</i> , (2005b)	X						
Kharraja <i>et al.</i> , (2006)	X	X		X	X		
Jebali <i>et al.</i> , (2006)	X	X	X	X			X
Hammami <i>et al.</i> , (2007)	X	X		X			
Chaabane <i>et al.</i> , (2007)	X	X	X	X			X
Hans <i>et al.</i> , (2008)	X						
Fei <i>et al.</i> , (2008)	X						
Chaabane <i>et al.</i> , (2008)	X	X		X			
Iser <i>et al.</i> , (2008)	X	X		X			
Fei <i>et al.</i> , (2010)	X	X		X			
Rodier, (2010)	X	X		X			
Roland <i>et al.</i> , (2010)	X	X		X		X	
Aniba et Jebali., (2011)	X						
Agnetis <i>et al.</i> , (2012)	X	X		X			
Bouguerra <i>et al.</i> , (2015)	X	X		X			
Razmi <i>et al.</i> , (2015)	X		X				X
Pariente <i>et al.</i> , (2015)	X	X		X	X		

Tableau 2.1 : Champ α – Structure

2.3. Synthèse pour le champ β

Comme le montre le tableau 2.2, on constate que douze articles ont utilisé le modèle de la programmation ouverte uniquement (Guinet et Chaabane, 2003), (Fei *et al.*, 2005b, 2008, 2010), (Jebali *et al.*, 2006), (Hans *et al.*, 2008), (Rodier, 2010), (Roland *et al.*, 2010), (Aniba et Jebali., 2011), (Bouguerra *et al.*, 2015), (Razmi *et al.*, 2015) et (Pariante *et al.*, 2015). Quatre articles ont utilisé la programmation ouverte et la programmation par allocation préalable des plages horaires. Un article a utilisé la programmation par allocation préalable des plages horaires et la programmation par allocation des plages avec ajustement. Un article construit le planning opératoire avec uniquement la programmation par allocation des plages avec ajustement. Un article a utilisé uniquement la programmation par allocation préalable des plages horaires. Un seul article intègre le critère de priorité dans l'affectation des patients dans les salles. Deux articles prennent en compte les patients non programmés (les cas urgents) dans la construction du planning opératoire. Deux articles traitent le cas où le patient a la possibilité d'effectuer le choix du chirurgien. On constate que les auteurs ayant considéré uniquement les salles ont utilisé le modèle de la programmation ouverte. Ceux qui ont considéré les salles et les chirurgiens ont utilisé soit uniquement le modèle de la programmation ouverte, soit le modèle de la programmation par allocation des plages horaires, soit le modèle de la programmation des plages horaires avec ajustement, ou encore deux des trois modèles.

Les différentes règles de gestion des modèles de la littérature que nous avons étudiées sont résumées dans le tableau 2.2. Le modèle de planification le plus fréquent est le modèle de programmation ouverte ou Open Scheduling. Un seul article accorde la priorité à l'affectation des patients dans la construction du planning opératoire. Trois articles accordent aux patients la possibilité de choisir leur chirurgien.

Auteurs	Modèle de programmation			Patient		
	OS	BS	MBS	NonProg	PriorP	ChoixP
Guinet et Chaabane, (2003)	X					X
Kharraja <i>et al.</i> , (2004)		X	X			
Fei <i>et al.</i> , (2005b)	X					
Kharraja <i>et al.</i> , (2006)	X	X				
Jebali <i>et al.</i> , (2006)	X					
Hammami <i>et al.</i> , (2007)			X			
Chaabane <i>et al.</i> , (2007)	X	X				
Hans <i>et al.</i> , (2008)	X					
Fei <i>et al.</i> , (2008)	X					
Chaabane <i>et al.</i> , (2008)	X	X				
Iser <i>et al.</i> , (2008)		X				
Fei <i>et al.</i> , (2010)	X					X
Rodier, (2010)	X					
Roland <i>et al.</i> , (2010)	X					
Aniba et Jebali., (2011)	X			X		
Agnetis <i>et al.</i> , (2012)	X	X			X	
Bouguerra <i>et al.</i> , (2015)	X					X
Razmi <i>et al.</i> , (2015)	X			X		
Pariente <i>et al.</i> , (2015)	X					

Tableau 2.2 : Champ β – règles de gestion

2.4. Synthèse pour le champ γ

Nous avons identifié au total dix huit critères dans les différents modèles de la littérature étudiée. Parmi les critères les plus utilisés, on note le coût d'intervention à minimiser, présent dans six articles (Guinet et Chaabane, 2003), (Fei *et al.*, 2005b, 2008), (Jebali *et al.*, 2006), (Chaabane *et al.*, 2007) et (Razmi *et al.*, 2015). On a également le temps d'attente entre deux interventions à minimiser, présent dans six articles. Ensuite le coût d'ouverture des salles pendant les heures supplémentaires à minimiser apparaît dans cinq papiers. Le taux d'occupation des salles à minimiser est considéré dans quatre papiers. Deux articles ont considéré chacun quatre critères.

Les critères pris en compte dans les différents modèles proposés dans la littérature sont récapitulés dans le tableau 2.3. La minimisation des coûts, des heures supplémentaires, du taux d'occupation des salles et du temps d'attente entre deux interventions chirurgicales reviennent le plus souvent.

Tableau 2.3 : Champ γ – objectifs

Auteurs	HS	D _{IE}	ToocS	NS	N _{EQ}	N _{SP}	C _{us}	NICNA	N _{pl}	C _{su}	C _T	C _{so}	T _A	C _{NP}	NICA	E _{ODH}	C _O	CSU
Guinet and Chaabane, (2003)											X		X					
Kharraja <i>et al.</i> , (2004)															X	X		
Fei <i>et al.</i> , (2005b)											X							
Kharraja <i>et al.</i> , (2006)																X		
Jebali <i>et al.</i> , (2006)											X	X						X
Hammami <i>et al.</i> , (2007)								X	X									
Chaabane <i>et al.</i> , (2007)											X						X	
Hans <i>et al.</i> , (2008)	X		X															
Fei <i>et al.</i> , (2008)											X							
Chaabane <i>et al.</i> , (2008)													X			X	X	
Iser <i>et al.</i> , (2008)	X																	
Fei <i>et al.</i> , (2010)	X		X										X					
Rodier, (2010)				X	X	X							X					
Roland <i>et al.</i> , (2010)							X										X	
Aniba et Jebali., (2011)										X				X			X	X
Agnetis <i>et al.</i> , (2012)			X															
Bouguerra <i>et al.</i> , (2015)			X										X					
Razmi <i>et al.</i> , (2015)											X						X	
Pariente <i>et al.</i> , (2015)		X											X		X			

Tableau 2.3 : Champ γ – objectifs

2.5. Méthodes utilisées

Dans la résolution du problème de la planification opératoire qui est connu pour être NP-complet, de nombreuses méthodes de résolution existent pour l'aborder. On rencontre dans un premier temps des méthodes exactes, qui nécessitent un temps d'exécution important à cause de la complexité et de la taille de certains problèmes étudiés. C'est pourquoi de nombreuses méthodes approchées existent.

Dans le tableau 2.4, nous récapitulons les méthodes rencontrées dans la littérature traitée. Nous pouvons constater que ces méthodes sont variées. Tout d'abord, parmi les méthodes exactes, la Programmation Linéaire a été utilisée dans seize papiers. D'autres approches sont proposées pour trouver des solutions et limiter les temps de calcul. Un algorithme de branch and price a été utilisé par (Fei *et al.*, 2005b). Un algorithme de branch and bound a été utilisé par (Fei *et al.*, 2008). Différentes heuristiques ont été utilisées, des heuristiques dédiées aux problèmes de la planification opératoire comme l'heuristique de (Rodier, 2010), (Kharraja *et al.*, 2006) et (Hans *et al.*, 2008). Les métaheuristiques sont également présentes avec (Hans *et al.*, 2008), (Roland *et al.*, 2010) et (Razmi *et al.*, 2015). On retrouve également une hybridation de méthodes entre heuristique, méthode de simulation et métaheuristique (Rodier, 2010).

Auteurs	PLNE	Branch-and-Bound	Branch-And-Price	HS	S	H+S	GC	M	H+ S + M
Guinet and Chaabane, (2003)	X			X					
Kharraja <i>et al.</i> , (2004)	X			X					
Fei <i>et al.</i> , (2005b)	X		X						
Kharraja <i>et al.</i> , (2006)	X			X					
Jebali <i>et al.</i> , (2006)	X								
Hammami <i>et al.</i> , (2007)	X								
Chaabane <i>et al.</i> , (2007)	X								
Hans <i>et al.</i> , (2008)				X	X			X	
Fei <i>et al.</i> , (2008)	X	X					X		
Chaabane <i>et al.</i> , (2008)				X					
Iser <i>et al.</i> , (2008)				X					
Fei <i>et al.</i> , (2010)	X						X		
Sophie Rodier, (2010)	X			X		X			X
Roland <i>et al.</i> , (2010)	X							X	
Aniba and Jebali., (2011)	X			X					
Agnetis <i>et al.</i> , (2012)	X			X					
Bouguerra <i>et al.</i> , (2015)	X			X					
Razmi <i>et al.</i> , (2015)	X							X	
Pariente <i>et al.</i> , (2015)	X								

Tableau 2.4 : Méthodes de résolution

HS : heuristique spécifique ; S : simulation ; H+S : heuristique + simulation ; GC : génération de colonnes ; M : métaheuristique

2.6. Conclusion de la revue de la littérature

Comme nous l'avons constaté, (Fei *et al.*, 2005b, 2008), (Hans *et al.*, 2008), (Iser *et al.*, 2008), (Aniba et Jebali., 2011) et (Agnētis *et al.*, 2012) traitent le problème de la planification du bloc opératoire en considérant uniquement les salles d'opération. (Kharraja *et al.*, 2004, 2006), (Hammami *et al.*, 2007), (Iser *et al.*, 2008), (Chaabane *et al.*, 2008), (Fei *et al.*, 2010), (Rodier, 2010), (Roland *et al.*, 2010), (Agnētis *et al.*, 2012), (Bouguerra *et al.*, 2015) et (Pariente *et al.*, 2015) traitent la même problématique en considérant les salles et les chirurgiens. Ils tiennent compte du fait que les chirurgiens ne sont pas tout le temps disponibles. Leurs disponibilités diffèrent ainsi de celles des salles d'opération. Seulement un article (Razmi *et al.*, 2015) parmi les articles rencontrés, s'occupe de la planification opératoire en considérant les salles et l'équipement. L'unique équipement de ce bloc opératoire n'est pas tout le temps disponible. Trois articles, (Guinet et Chaabane, 2003), (Jebali *et al.*, 2006) et (Chaabane *et al.*, 2007) construisent le planning opératoire en considérant les salles, les chirurgiens et les équipements. Dans ce dernier groupe, les chirurgiens et les équipements ont des disponibilités qui diffèrent du planning d'ouverture des salles.

Concernant les règles de gestion dans le bloc opératoire, la plupart des articles traités s'intéressent à la stratégie de programmation ouverte ou Open scheduling (OS). Six articles ont proposé la stratégie d'allocation de plages horaires ou Block Scheduling (BS) et deux articles ont traité le cas d'allocation de plages horaires avec ajustement.

Différents objectifs ainsi que différentes méthodes de résolution sont rencontrés dans la littérature exploitée.

Concernant les critères, le coût total d'intervention C_T , le temps d'attente des patients T_A , le taux d'occupation des salles $ToocS$ et le coût d'ouverture des salles Co pendant les heures supplémentaires sont les critères les plus étudiés. Six articles ont traité le C_T et le T_A , cinq articles le Co et quatre articles le $ToocS$.

3. Les principaux logiciels sur le marché pour la gestion des blocs opératoires

Il existe un nombre important de logiciels destinés à la gestion des blocs opératoires. Nous avons mis à jour la liste des logiciels en nous inspirant des travaux de (Cassagne *et al.*, 2010), s'intéressant à l'informatisation de l'activité opératoire avec leurs principales fonctionnalités. Ces dernières sont répertoriées pour chacun des logiciels étudiés, comme le montre le tableau 2.5.

Nous décrivons les différentes fonctionnalités des logiciels présentés dans le tableau 2.5.

– Planification des consultations / suivi pré opératoire

Tous les rendez-vous de patients peuvent être gérés dans un agenda centralisé. Le suivi pré opératoire permet d'établir un contact suivi qui permet outre de bien connaître le patient, de vérifier sa motivation, d'expliquer le principe des interventions et au final de retenir ou pas une indication chirurgicale et de décider du type d'intervention retenue.

- Gestion et visualisation des plannings

Les plannings créés peuvent subir des modifications et être visualisés en temps voulu.

- Vue multiple des plannings

Il est possible de pouvoir créer plusieurs accès de manière à gérer le planning à vue multiple à travers différents services.

- Aide à la planification et à la programmation des interventions

Une fonction d'aide à la planification analyse pour le responsable du bloc opératoire les principaux critères pour lui proposer la meilleure option de planification possible.

- Protocoles d'interventions

Les protocoles peuvent permettre d'éviter l'erreur de patient ou d'opération, et faciliter une meilleure communication entre les membres de l'équipe et avec le patient.

- Gestion des comptes rendus opératoires

Le compte rendu opératoire est un document rédigé par le chirurgien à l'issue de l'intervention chirurgicale. Il est intégré au dossier médical du patient. Le compte rendu opératoire doit comporter un certain nombre d'indications dont : le nom du chirurgien, la date et l'heure de l'intervention. Il doit décrire le déroulement de l'intervention.

- Planification en temps réel

Le logiciel permet la planification opératoire, la gestion des ressources et vacations, la validation du programme opératoire et le suivi en temps réel facilitant la communication inter services et optimisant le brancardage, les prémédications, etc.

- Affectation manuelle des ressources

Depuis l'écran de planification, il est possible d'affecter les ressources manuellement. Le gestionnaire clique sur le symbole de la ressource afin d'afficher des ressources par compétences après avoir sélectionné l'activité sur laquelle ladite ressource être affectée.

Logiciels (éditeurs)	BlocQual (McKesson)	Bloc(Computer engineering)	Sano bloc (2CSI)	BlocReport(Smile)	ExpertSanté (Expertiz)	Gmédecine (Gmédecine)	HOP.SIH Calystene)	Novameds.o(Nice Computing)	Opéra (GE Healthcare)	OPTIM Bloc (Optim S.A.)	Opti-time (DELLASYTEMS)	Planop (E-sens)	TimeWyse bloc (Canyon tech)	WebPCP (Web100T)	Winbloc (Logifrance)	OP'Surg s.a n.v	Qbloc (Evolucare)	OSP Bloc opératoire (QSP)	IPOP (Alma Solutions santé)
Planification des consultations / suivi pré opératoire	X	X	X		X		X		X	X	X	X				X	X	X	X
Gestion et visualisation des plannings	X	X	X	X	X	X		X		X			X				X		X
Vue multiple des plannings					X			X		X			X						
Aide à la planification et à la programmation des interventions	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X	X				X
Planification en temps réel	X							X		X	X	X	X	X	X				
Affectation manuelle des ressources	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X			X		X	X	X	X
Saisie en temps réel lors de l'intervention	X								X	X			X		X			X	
Protocoles d'interventions	X	X	X		X	X	X		X	X			X		X			X	
Gestion des comptes rendus opératoires	X	X	X							X				X		X			
Suivi post opératoire	X	X		X		X				X									
Cotation des interventions / suivi des coûts	X	X	X	X	X	X				X				X	X				
Codification CCAM (Classification Commune des Accès Médicaux)	X	X	X	X	X	X				X				X				X	
Prise en compte du PMSI (Programme de médicalisation des systèmes d'information)	X	X	X		X	X				X				X				X	
Elaboration de tableaux de bords / statistiques	X		X		X	X	X		X	X					X	X	X	X	X
Gestion des lits en chirurgie ambulatoire	X																		
Gestion des stocks	X		X			X			X	X			X					X	X
Réservation des lits																X			
Gestion du matériel opératoire																X			X

Tableau 2.5 : Fonctionnalités des principaux logiciels de gestion des blocs opératoire

- Saisie en temps réel lors de l'intervention

Interagir en temps réel avec les ressources sur le terrain. Possibilité de recevoir des alertes pour chaque intervention lors de l'attribution, la planification ou la re-planification.

- Suivi post opératoire

Cette étape a pour objectifs de : veiller à la sécurité du patient et à son confort au retour de la salle d'opération, permettre au patient de récupérer très vite la plus grande autonomie possible et prévenir les éventuelles complications dues à l'intervention. Il est normal de revoir le chirurgien pour contrôler les suites de l'intervention et enlever les fils de suture.

- Cotation des interventions / suivi des coûts

Les prix des différents actes chirurgicaux sont archivés, facilitant la facturation et la traçabilité ainsi que réduisant les erreurs de calculs.

- Codification CCAM (Classification Commune des Accès Médicaux)

Il s'agit du codage des actes médicaux. La consultation de la CCAM peut s'effectuer selon plusieurs critères : rechercher un acte par son code, par un mot clé ou par chapitre. Il est possible d'imprimer, d'exporter ou mémoriser les actes consultés.

- Prise en compte du PMSI (Programme de médicalisation des systèmes d'information)

Le Programme de médicalisation des systèmes d'information (*PMSI*) est un dispositif faisant partie de la réforme du système de santé français ayant pour but la réduction des inégalités de ressources entre les établissements de santé. Afin de mesurer l'activité et les ressources des établissements, il est nécessaire de disposer d'informations quantifiées et standardisées, le PMSI.

- Elaboration de tableaux de bords / statistiques

Grâce au tableau de bord, le gestionnaire du bloc est à même de maîtriser le fonctionnement et le développement l'activité du bloc en suivant les écarts entre la prévision et la réalité. Le tableau de bord occupe une place centrale dans les outils de gestion de tout dirigeant, manager, cadre, chef d'équipe. Les indicateurs clés retenus par le gestionnaire lui faciliteront la prise de décisions.

- Gestion des lits en chirurgie ambulatoire

Un logiciel permet d'amorcer le dialogue de gestion en évaluant sur certains critères les activités transférables et les bénéfices attendus. Ils se traduisent par la valorisation ou le redéploiement d'effectifs et la réduction des coûts indirects.

- Gestion des stocks

Certains logiciels gèrent les stocks des différents produits et articles nécessaires au bloc opératoire avec la mise à jour automatique du niveau de stock de chaque produit ou article après consommation, ainsi qu'à déterminer les dates et les quantités à approvisionner.

- Réservation des lits

Les flux des patients entrants et sortants sont bien connus. La rythmicité des arrivées et des départs au sein des services est décrite et analysée. La réservation des lits peut ainsi se faire à partir de chaque service.

La planification dans les différents logiciels concerne plus la gestion des rendez-vous des chirurgiens pour leurs consultations préopératoires. Elle s'occupe également de l'affectation manuelle des ressources (humaines et matérielles) aux éventuelles interventions chirurgicales. Aucun éditeur ne propose un outil de construction d'un planning opératoire intégrant à la fois les tâches de maintenance des équipements des SO et les interventions chirurgicales.

Dans la section suivante, nous présentons quelques articles ayant traité la problématique de la planification des activités de production et de la maintenance dans le domaine industriel.

4. Quelques travaux traitant la production et la maintenance en milieu industriel

Avant de s'intéresser à la littérature exploitée, nous définissons quelques paramètres pris en compte pour faciliter la compréhension du tableau 2.6.

Stratégie : correspond à la politique de planification des activités de production et de Maintenance appliquée. Elle est soit séquentielle (S), soit intégrée (I). La stratégie séquentielle affecte chronologiquement les activités, en premier les interventions de maintenance préventive, et ensuite les activités de production. Par contre la stratégie intégrée affecte simultanément les activités de production et les interventions de maintenance préventive.

DM : représente la durée de l'activité de maintenance. Le signe « X » dans la case signifie que la durée de la tâche de maintenance est supposée connue.

Hdebm : représente l'heure de début de la tâche de maintenance. Elle est soit fixe (F), soit flexible (FL).

Disprh : la disponibilité des ressources humaines. Le signe « X » dans la case signifie dans la case signifie que la disponibilité des ressources humaines est prise en compte.

Qualif : représente la qualification des ressources humaines. Le signe « X » dans la case signifie que la qualification est considérée.

Pm: le nombre de postes (ou machines) : m prend la valeur 1 s'il s'agit d'un poste, sinon on maintient m s'il s'agit de plus d'un poste.

Contrairement au domaine des systèmes hospitaliers où la littérature traitant les problématiques de la planification des activités et de la maintenance préventive est inexistante, le domaine industriel par contre ne souffre pas de cette carence littéraire. Différentes stratégies de maintenance sont appliquées. Avec la concurrence grandissante, le respect du délai - client ainsi que des quantités commandées font partie des indicateurs de performance dans le domaine. Le programme de production ne saurait être conçu, sans intégrer les actions de maintenance. Les services de production et de maintenance travaillent dans ces conditions en symbiose.

Auteurs	Objectif	Stratégie	DM	Hdebm	Contrainte		
					Dispr _{RH}	Qualif	P1 ou Pm
Sortrakul et al., (2005)	Minimiser le Makespan	I					P1
Aghezzaf <i>et al.</i> , (2007)	Minimiser les coûts de production et de maintenance	I					
Fitouhi and Nourelfath., (2012)	Minimiser les coûts de production	I					P1
Touat <i>et al.</i> , (2014)	Minimiser la somme des retards	I	X	FL	X	X	P1
Cui <i>et al.</i> , (2014)	Optimisation de la robustesse de l'ordonnancement	I	X				P1
Beheshti Fakher <i>et al.</i> , (2015)	Minimiser les coûts de production	I					
Lu <i>et al.</i> , (2015)	Optimisation de la robustesse et de la stabilité du système	I	X				P1
Assid <i>et al.</i> , (2015)	Minimiser le temps d'attente entre deux activités	S	X	FL			P1
Bouzidi-Hassini <i>et al.</i> , (2015)	Minimiser la lenteur des tâches de production et le risque de panne	I	X		X	X	P1

Tableau 2.6 : synthèse des travaux ayant traité à la fois les problématiques de la production et de la maintenance

Comme nous le constatons dans le tableau 2.6 qui récapitule les articles étudiés, les objectifs recherchés par les différents auteurs sont très variés. Huit papiers, Sortrakul *et al.*, (2005), Aghezzaf *et al.*, (2007), Fitouhi and Nourelfath., (2012), Touat *et al.*, (2014), Cui *et al.*, (2014), Beheshti Fakher *et al.*, (2015), Lu *et al.*, (2015), Bouzidi-Hassini *et al.*, (2015) ont traité le cas de la stratégie intégrée dans la construction du planning, celle qui planifie les activités de production et de maintenance simultanément. Assid *et al.*, (2015) a privilégié la stratégie séquentielle. Dans ce cas, Les interventions de maintenance sont des contraintes pour les activités de production. Six articles, Bouzidi-Hassini *et al.*, (2015), Touat *et al.*, (2014), Cui *et al.*, (2014), Lu *et al.*, (2015), Assid *et al.*, (2015), Bouzidi-Hassini *et al.*, (2015) considèrent aussi la durée de l'intervention de maintenance comme étant une donnée fixe.

Conclusion

Dans ce chapitre, la classification décrite et la notation proposée nous ont permis de structurer l'état de l'art concernant le problème de la planification opératoire. Nous avons fait la synthèse des trois champs définis dans la notation. Les méthodes de résolution proposées par les auteurs cités ont été présentées. Le constat est que les hypothèses et les contraintes prises en compte sont propres à chaque auteur. La stratégie de programmation ouverte ou « Open Scheduling » (SO) est la plus utilisée. Les caractéristiques les plus présentes concernent la disponibilité des salles d'opération et des équipements. La littérature présente un nombre important de critères à optimiser, mais le plus classique est le coût des heures supplémentaires d'utilisation des salles. La programmation opératoire est principalement traitée à l'aide de la programmation linéaire en nombres entiers.

Nous n'avons pas trouvé de travaux traitant le problème de la construction d'un planning opératoire intégrant les interventions chirurgicales et celles de la maintenance préventive. Nous essaierons donc de répondre à cette question dans les chapitres suivants.

Chapitre 3

Spécification et formalisation

Introduction	49
1. Application de la méthode ASCI à la gestion des blocs	50
1.1. Processus de modélisation du problème	50
1.2. Sous système physique	51
1.3. Sous système logique	51
1.4. Sous système décisionnel	51
1.5. Diagramme de classes	52
2. Open Scheduling (OS)	54
2.1. Hypothèses	55
2.2. Diagramme de classes associé	56
2.3. Heure de début de maintenance fixée	56
2.4. Heure de début de maintenance variable	59
3. Block Scheduling (BS)	63
3.1. Hypothèses	64
3.2. Diagramme de classes associé	65
3.3. Heure de début de maintenance fixée	65
3.4. Heure de début de maintenance variable	67
Conclusion	70

Introduction

Le chapitre précédent a présenté quelques modèles de la littérature qui traitent de la construction du planning opératoire. Nous constatons que ces modèles ne répondent pas complètement à la problématique des blocs opératoires camerounais, comme celui de l'HLD. Pour appréhender notre problème, nous avons suivi la démarche de modélisation, ASCI (Analyse, Spécification, Conception et Implantation), proposée par (Gourgand et Kellert, 1991). Cette méthodologie a été utilisée et adaptée dans différents domaines. A titre d'exemple, nous pouvons citer les thèses de (Goujon, 1997) et de (Lacomme, 1998) pour les systèmes industriels de production, les thèses de (Combes, 1994), (Rodier, 2010), (Klement, 2014) et (Gayraud, 2015) pour les systèmes hospitaliers et la thèse de (Sarramia, 2002) pour les systèmes de transport urbain.

La première étape de la méthodologie ASCI est consacrée à la construction du modèle de connaissance. Cette étape comprend deux phases :

- La phase de l'analyse, qui permet de comprendre le système et les acteurs qui interviennent dans ce système. Ici, l'on se concentre sur la compréhension du problème, l'étude des informations pertinentes sur le système à modéliser, la définition des objectifs et les contraintes à respecter. Pour réduire la complexité de l'analyse, une décomposition en trois sous-systèmes est préconisée. Les trois sous-systèmes sont définis dans la section suivante.
- La phase de la spécification, qui permet de recueillir et de structurer les entités et leurs différentes relations. Elle consiste à présenter les données et les règles de gestion du système. L'objectif de cette étape est d'aboutir à un modèle de connaissance qui correspond à une formalisation dans un langage naturel ou graphique de la structure et du fonctionnement du système étudié.

La deuxième étape est la réalisation du modèle d'action, qui est une traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique ou dans un langage de programmation.

La troisième étape est la mise en œuvre du modèle d'action construit. Elle permet d'évaluer les critères de performance du système défini dans la première étape, ce qui aboutit au modèle de résultats. L'analyse des résultats va permettre d'identifier des pistes d'amélioration pour réaliser l'étape 4 en agissant sur le système, et si nécessaire, sur le modèle de connaissance, en modifiant sa structure et son fonctionnement.

La section 1 est consacrée à l'application de la méthodologie ASCI au problème de planification opératoire dans un bloc. La section 2 traite la stratégie de programmation ouverte ou Open Scheduling (OS), d'une part avec l'heure de début de maintenance fixée et, d'autre part avec l'heure de début de maintenance variable. La section 3 s'intéresse à la stratégie de programmation d'allocation préalable des plages horaires aux chirurgiens ou Block Scheduling (BS), d'une part avec l'heure de début de maintenance fixée et, d'autre part avec l'heure de début de maintenance variable.

1. Application de la méthode ASCI à la gestion des blocs

Cette section décrit la construction du modèle de connaissance en suivant la démarche de modélisation ASCI, pour mieux appréhender notre problème. La section est donc consacrée entièrement à la première étape de la méthodologie décrite dans l'introduction de ce chapitre.

1.1. Processus de modélisation du problème

La résolution d'un problème nécessite la réalisation d'un modèle plus ou moins complexe du système étudié pour l'évaluation de ses performances. ASCI montre à travers la figure 3.1, la séparation évoquée plus haut, du système en trois sous-systèmes :

- le sous-système physique est composé des entités physiques utilisées pour réaliser l'ensemble des activités, leur distribution géographique et leurs interconnexions,
- le sous-système logique est composé des flux que le système doit traiter, toutes les activités concernant le traitement de ces flux et toutes les entités dans le système qui y sont relatives,
- le sous-système décisionnel est le centre de décision qui contient toutes les règles de gestion, d'affectation de ressources et de fonctionnement du système.

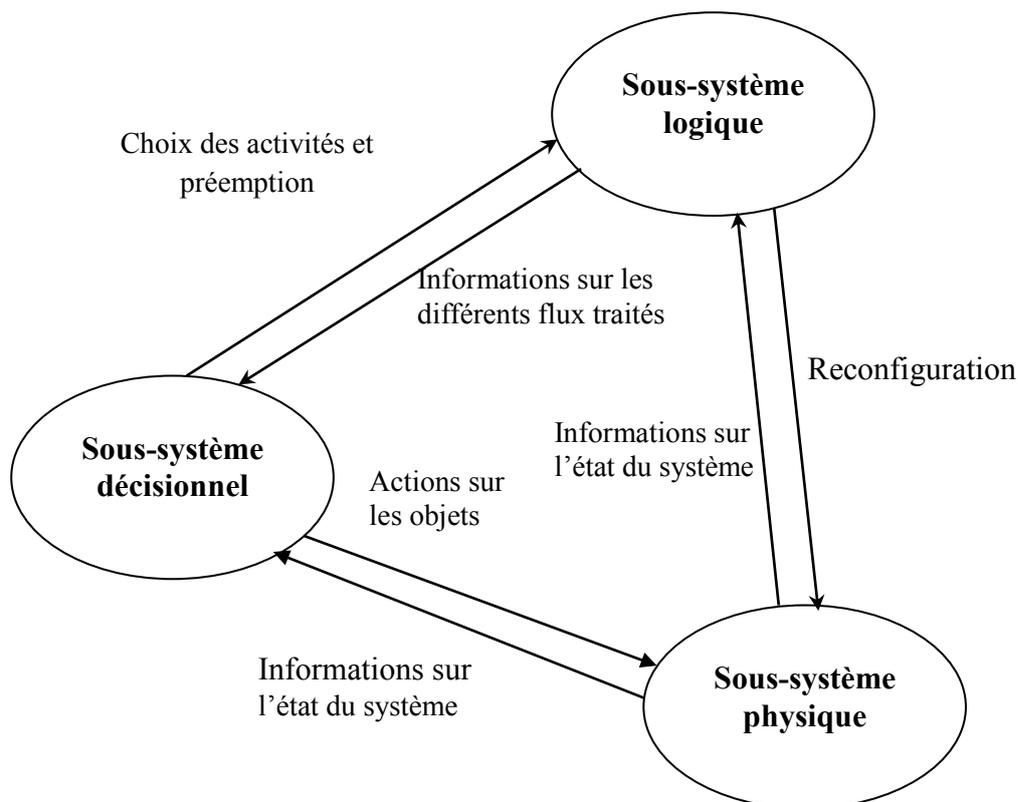


Figure 3.1 : Communication entre les trois sous-systèmes

1.2. Sous-système physique

Comme présenté dans la problématique au chapitre 1, nous rappelons ici à titre d'exemple que le bloc opératoire de l'HLD est composé de six salles d'opération, parmi lesquelles deux sont réservées aux urgences. Les chirurgiens interviennent dans ce bloc opératoire pour différentes spécialités en fonction de leur disponibilité. Les salles sont dotées d'équipements fixes. Certains équipements mobiles n'appartenant pas aux salles peuvent être sollicités pour certaines interventions chirurgicales. Le bloc opératoire dispose d'un personnel fixe pour chaque salle opératoire. Ce personnel est rejoint par d'autres ressources quand une intervention est prévue.

1.3. Sous-système logique

Ce sous-système pilote les deux activités principales qui sont les interventions chirurgicales IC et les interventions de maintenance IM. Les IC sont proposées par les chirurgiens et les IM proviennent du service de maintenance. A cause de la vétusté des équipements dans les salles opératoires, occasionnant de fréquentes pannes, l'accent est mis sur les interventions de maintenance préventive. Chaque IM préventive est prévue un jour, dans une salle. La durée de l'IM est une donnée.

En s'inspirant du domaine industriel, nous avons dans un premier temps considéré que l'heure de début de l'IM de maintenance préventive était fixée, et devait être respectée. Dans ce cas, la présence de l'IM dans une salle un jour, est une contrainte pour les IC à affecter dans ladite salle. L'IM peut être programmée dès l'ouverture de la salle, dans ce cas, l'exécution de la première IC ne peut débuter qu'à la fin de l'IM programmée. Par contre, si l'IM est programmée en milieu de journée, la salle sera disponible à recevoir les IC avant l'heure de début de l'IM et à la fin de l'IM programmée jusqu'à l'heure de fermeture de la salle.

Lorsque l'heure de fin de l'IM coïncide avec l'heure de fermeture HF de la salle un jour, la salle est disponible à recevoir les interventions chirurgicales jusqu'à l'heure de début de l'IM prévue. L'heure de début de l'IM devient ainsi l'heure de fermeture de la salle ce jour.

Dans un second temps, nous avons considéré l'heure de début de l'IM comme étant variable. Compte tenu de la petite dimension de l'équipe de maintenance et de la nécessité d'utiliser les salles, au plus une IM par salle est prévue un jour donné et pas plus de trois IM par jour sur toutes les salles.

1.4. Sous-système décisionnel

L'étude se fait dans une approche prédictive, toutes les interventions pouvant être traitées le jour du conseil du bloc opératoire. L'outil d'aide à la décision ne produit pas un ordonnancement des activités dans la salle, mais il affecte chaque IC à un intervalle de temps correspondant de la salle.

A partir des stratégies de programmation opératoire citées plus haut, à savoir :

- la programmation ouverte ou Open Scheduling OS;
- la programmation par allocation des plages horaires ou Block Scheduling BS.

Quatre cas sont considérés pour le problème de planification opératoire.

Concernant les critères à respecter, nous avons retenu les critères suivants en fonction de chacun des quatre cas :

- Open Scheduling avec l'heure de début de maintenance fixée
le nombre d'IC non affectées *NICNP*, la durée d'utilisation des salles *DUS*, le taux d'utilisation des salles, les critères multiples *C1* et *C2*. *C1* accorde la priorité totale aux IC affectées et ensuite à la durée d'utilisation des salles. *C2* par contre, accorde la priorité totale à la durée d'utilisation des salles et ensuite aux IC affectées,
- Open Scheduling avec l'heure de début maintenance variable
le nombre d'IC non affectées est à minimiser.
- Block Scheduling avec l'heure de début maintenance fixée
le nombre d'IC non affectées est à minimiser.
- Block Scheduling avec l'heure de début maintenance variable
le nombre d'IC non affectées est à minimiser.

Tout comme pour les IM, les données des IC sont contenues dans une liste précisant le numéro, le type, la durée de l'IC (décontamination incluse) et de la salle. La liste des données des IC pour les cas 1 et 2 étudiés est différente de celle des cas 3 et 4.

1.5. Diagramme de classes

A l'aide du langage UML (Unified Modeling Language), nous avons réalisé une modélisation des données de base du problème de planification opératoire, comme le montre la figure 3.2. A partir du diagramme de classes de la figure 3.2 qui présente la situation globale du bloc opératoire, nous avons réalisé deux modélisations associées aux types de salles. Les deux diagrammes qui en découlent présentent chacun les données prises en compte dans les modèles correspondants.

Le responsable d'un bloc opératoire, composé de plusieurs salles, a la charge de planifier les IC et les IM dans un horizon de planification, qui est la semaine. Pour chaque IC, on connaît le numéro, le type, la durée de l'intervention (décontamination incluse) et la plage du chirurgien (uniquement pour le cas des salles dédiées).

Les IC sont planifiées dans les salles. Dans chacune des salles, un personnel fixe y exerce. Le jour de l'IC programmée, le personnel fixe est rejoint par le chirurgien traitant et le médecin anesthésiste. Ce dernier s'occupe d'une ou de deux salles simultanément au plus. Si aucune intervention n'est prévue dans une salle un jour, son personnel fixe est affecté dans d'autres unités de l'hôpital.

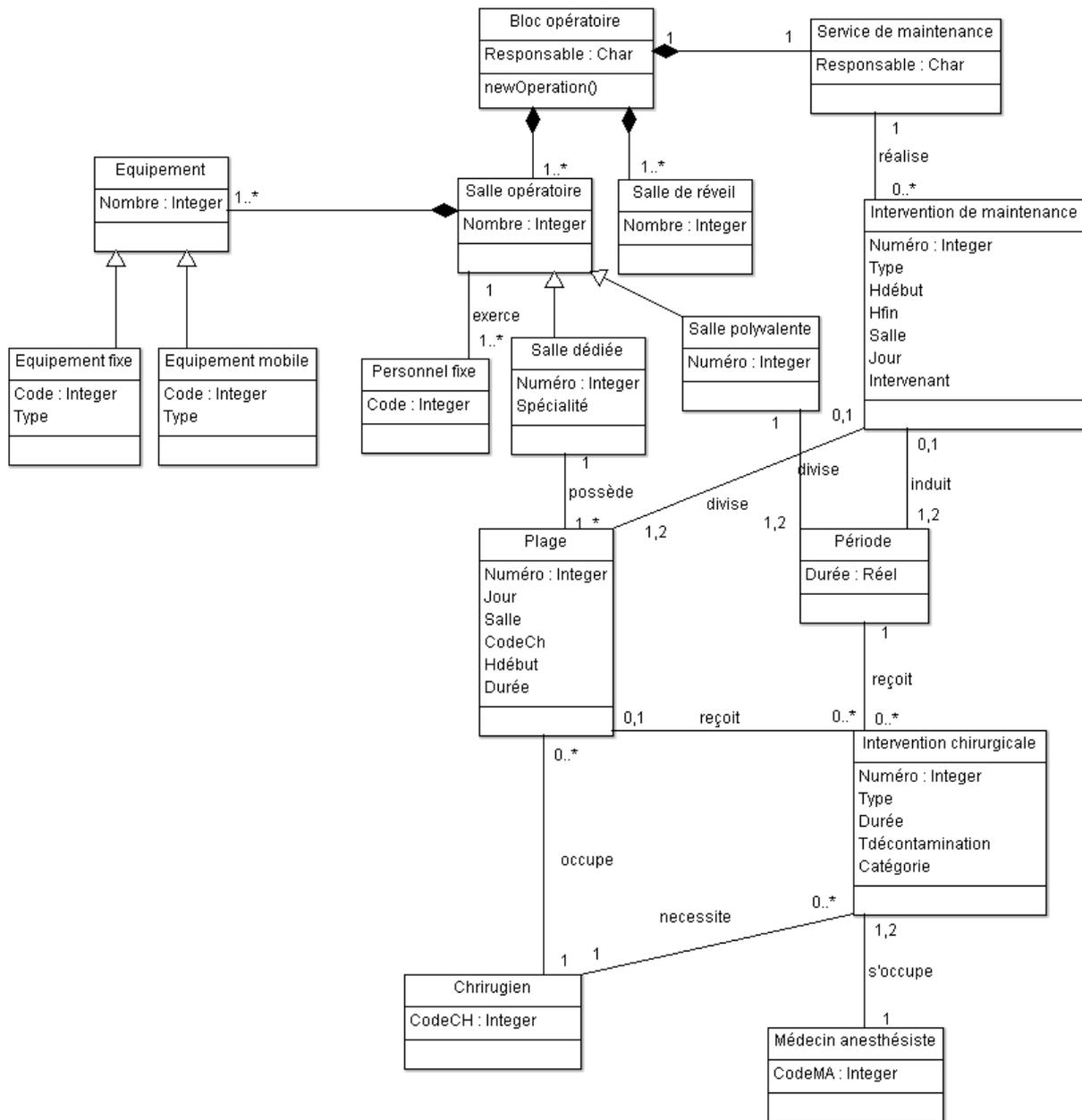


Figure 3.2 : Diagramme de classes

Les indications spécifiques aux types de salles sont données dans la suite de ce chapitre dans les sections traitant séparément les stratégies Open Scheduling et Block Scheduling.

Pour chaque IM, on connaît le type, la salle, le jour, l'intervenant, l'heure de début et l'heure de fin (en maintenance fixée), l'heure de début minimum et l'heure de début maximum (en maintenance variable).

Chaque salle est dotée des équipements fixes. Cependant, certains types d'intervention nécessitent des équipements mobiles, qui n'appartiennent pas aux salles, mais peuvent être mis à la disposition en cas de besoin.

A la fin de l'intervention, les équipements mobiles sont récupérés soit pour une autre salle, soit pour le lieu de magasinage.

Le service de maintenance est informé par le responsable du bloc des défaillances pouvant survenir sur les différents équipements fixes et mobiles. Les interventions de maintenance s'effectuent dans les salles d'opération, pour le cas des équipements fixes. Le service de maintenance n'est pas représenté au conseil du bloc.

2. Open Scheduling OS

Nous avons dans un premier temps considéré que les salles opératoires étaient toutes polyvalentes. Dans ce cas, elles peuvent recevoir tout type d'intervention chirurgicale. Cependant, à cause de la présence d'une intervention de maintenance (IM) dans une salle un jour, l'IM divise la salle en deux périodes de temps P1 et P2. La première période (P1) est comprise entre l'heure d'ouverture (HO) de la salle et l'heure de début de l'IM. La deuxième période (P2) revient à l'intervalle de temps allant de l'heure de fin de l'IM à l'heure de fermeture (HF) de la salle. La présence de l'IM fractionne donc la durée d'utilisation de ladite salle en deux. La figure 3.3 est une illustration de ce fractionnement.

L'objectif est de proposer au gestionnaire du bloc opératoire un outil d'aide à la décision qui, pour le cas de la programmation ouverte ou Open Scheduling, à partir d'une liste d'IC, et des IM déjà fixées, ainsi que des disponibilités des salles, construit le planning opératoire dans un horizon d'une semaine. Toutes les autres ressources sont considérées disponibles.

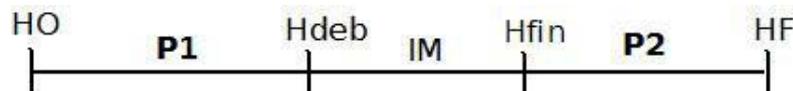


Figure 3.3 : Fractionnement de la durée d'ouverture de la salle par une IM en P1 et P2

Hdeb : heure de début de l'IM ; **Hfin** : heure de fin de l'IM

L'absence d'une intervention de maintenance dans une salle un jour, entraîne l'existence d'une seule période. L'unique période est comprise entre l'heure d'ouverture (HO) et l'heure de fermeture (HF). La durée d'ouverture de la salle n'est pas fractionnée dans ce cas. La figure 3.4 est une illustration de l'absence de l'IM dans une salle un jour.

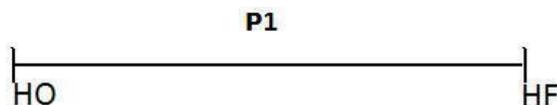


Figure 3.4 : Une salle sans IM programmée

Les données de l'IM sont contenues dans la liste indiquant le numéro, le type, l'heure de début, l'heure de fin, la salle, le jour.

Les durées des périodes dans les salles sont déterminées à l'aide des heures d'ouverture HO et de fermeture HF des salles, ainsi que des heures de début Hdeb et de fin Hfin des éventuelles IM programmées pendant l'horizon de planification.

Pour le premier cas étudié, la différence entre Hdeb et HO permet de trouver la durée de la période P1. La différence entre HF et Hfin donne la durée de la période P2.

Toutes les salles possèdent au moins une période, et au plus deux selon qu'une IM est prévue ou non un jour donné. Les deux cas étudiés dans cette stratégie de programmation correspondent au premier groupe de la classification proposée à l'état de l'art au chapitre 2. Seules les salles sont prises en compte dans la construction du planning opératoire. Les deux cas sont les suivants :

- 1er cas : heure de début de maintenance fixée,

Le critère *NICNP* qui correspond au nombre d'interventions chirurgicales non placées, reste au cœur de nos préoccupations mais un gestionnaire du bloc opératoire peut être intéressé à rentabiliser au maximum le bloc en maximisant la durée d'utilisation *DUS* et le nombre d'IC placées *NICP*. Les critères *C1* et *C2* qui sont des critères multiples, exploitent les deux derniers critères avec priorité. $C1 = NICP * 100000 + DUS$, $C2 = DUS * 1000 + NICP$. Tous ces critères seront expliqués par la suite.

- 2^{ème} cas : heure de début de maintenance variable,

Concernant le deuxième cas, les formules des calculs relatifs aux différentes durées sont présentées dans la section 2.4 traitant le cas de la maintenance variable.

L'IC est affectée à une période. Une période peut contenir plusieurs IC. Il peut aussi arriver qu'une période ne puisse pas recevoir une IC, parce que sa durée est plus petite que celles des IC dans la liste à affecter un jour donné. L'affectation d'une IC dans une période ou sur une est effective si la durée de l'IC (décontamination incluse) est inférieure ou égale à la durée disponible restante de la période.

Les contraintes suivantes doivent être respectées :

- le respect de la durée de disponibilité des périodes en cas de présence d'une IM ;
- le respect de la durée de disponibilité de la durée d'ouverture de la salle d'opération en l'absence d'une IM ;
- une IM au plus par salle par jour ;
- si une IC est affectée, elle l'est à une seule période dans une seule salle et elle doit être traitée dans un seul jour.

Pour simplifier le problème, quelques hypothèses sont considérées.

2.1. Hypothèses

H1 Le critère de priorité d'affectation des IC dans les salles n'est pas considéré.

H2 Les chirurgiens ne sont pas considérés.

2.2. Diagramme de classes associé

A l'aide du langage UML, nous avons réalisé une modélisation des données de base du problème relatif uniquement à la construction du planning opératoire dans le cas des salles polyvalentes (voir figure 3.5).

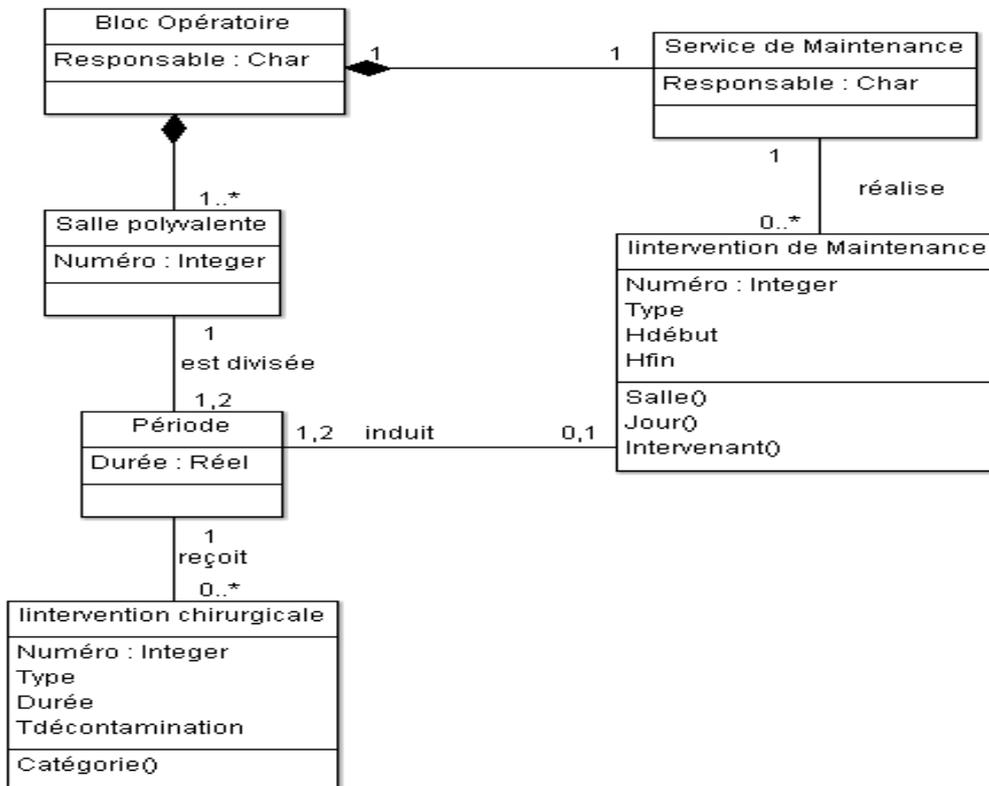


Figure 3.5 : Diagramme de classes associé aux salles polyvalentes

La présence d'une IM dans une salle polyvalente, induit une ou deux périodes au plus. Une période reçoit une ou plusieurs IC.

2.3. Heure de début de maintenance fixée

C'est le cas le plus élémentaire parmi les deux à traiter dans cette stratégie. L'heure de début de la maintenance préventive est imposée et doit être respectée.

Formalisation mathématique

L'IM m affectée dans une salle un jour donné induit une contrainte pour les IC à planifier par la suite. La durée d'une IC est une donnée qui intègre la durée opératoire et la décontamination de la salle.

Données

NS	nombre de salles
NJ	nombre de jours ouvrables de l'horizon
NC	nombre d'interventions chirurgicales
DC_c	durée de l'IC c , décontamination incluse
$Q_{s,j,p}$	durée de la période p pour salle s le jour j
D_T	durée totale d'ouverture du bloc. La somme des durées des IM est soustraite de D_T

Variable

$$X_{c,s,j,p} = \begin{cases} 1 & \text{si l'IC } c \text{ est affectée en salle } s \text{ le jour } j \text{ en période } p \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.1)$$

Contraintes

- Respect de la durée de disponibilité des périodes

$$\sum_{c=1}^{NC} DC_c * X_{c,s,j,p} \leq Q_{s,j,p}, \quad s = 1 \dots NS, j = 1 \dots NJ, p = 1, 2 \quad (3.2)$$

- Une IC $_c$ est affectée au plus à une seule période dans une seule salle un seul jour

$$\sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 X_{c,s,j,p} \leq 1, \quad c = 1 \dots NC \quad (3.3)$$

Contrainte d'intégrité

$$X_{c,s,j,p} \in \{0,1\}, c = 1 \dots NC, s = 1 \dots NS, j = 1 \dots NJ, p = 1, 2 \quad (3.4)$$

Fonctions multi objectifs

Le premier objectif est de minimiser le nombre d'IC non affectées $NICNP$ ou de maximiser le nombre d'IC placées $NICP = NC - NICNP$.

$$NICNP = NC - \sum_{c=1}^{NC} \sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 X_{c,s,j,p} \quad (3.5)$$

Le second objectif, DUS , est de maximiser la durée d'utilisation du bloc opératoire. C'est la somme des durées des IC placées en tenant compte de la décontamination de salle.

$$DUS = \sum_{c=1}^{NC} \left(\left(\sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 X_{c,s,j,p} \right) * DC_c \right) \quad (3.6)$$

Nous avons aussi le critère du taux d'utilisation du bloc opératoire par des IC placées à déterminer. Ce taux est exprimé en pourcentage.

$$Taux = \frac{DUS}{D_T} * 100 \quad (3.7)$$

L'objectif multicritère $C1$ est une agrégation, avec priorité décroissante sur le nombre d'IC placées $NICP$ et la durée d'utilisation du bloc opératoire DUS . Le coefficient est le majorant strict du sous critère suivant, le moins prioritaire.

$$C1 = NICP * 100000 + DUS \quad (3.8)$$

De même pour l'objectif multicritère $C2$, qui est une agrégation, avec priorité décroissante sur la durée d'utilisation du bloc opératoire DUS et le nombre d'IC placées $NICP$. Le coefficient est le majorant strict du sous critère suivant, le moins prioritaire.

$$C2 = DUS * 1000 + NICP \quad (3.9)$$

2.4. Heure de début de maintenance variable

L'heure de début de l'IM varie dans un intervalle de temps, compris entre l'heure de début minimum $Hdmin$ et l'heure de début maximum $Hdmax$. Le créneau horaire de l'IM sera compris entre l'heure de début minimum $Hdmin$ et l'heure de fin maximum $Hfmax$. L'IM doit être effectuée pendant ce créneau horaire. L'illustration de cette variabilité de l'heure de début de l'IM est présentée par la figure 3.6. Ce cas ne diffère du premier que du fait de la flexibilité de l'heure de début de l'IM.

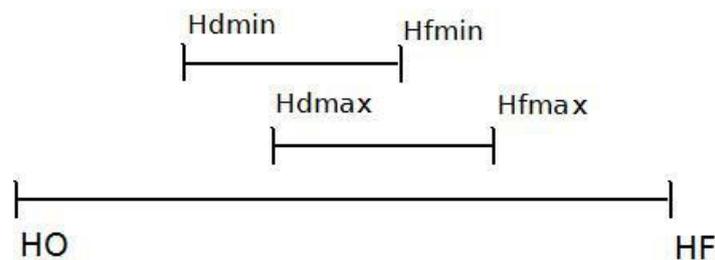


Figure 3.6 : Illustration des heures de l'IM variable

HO : heure d'ouverture de la salle ; **HF** : heure de fermeture de la salle ; **Hdmin** : heure de début minimum de IM ; **Hdmax** : heure de début maximum de IM ; **Hfmin** : heure de fin minimum de IM ; **Hfmax** : heure de fin maximum de IM.

Formalisation mathématique

Tout comme dans le premier cas, l'IM m affectée dans une salle un jour donné induit des contraintes pour les IC à planifier. Les durées des IC et des IM ainsi que la salle s et le jour j de l'IM m sont des données. On considère que l'IM m doit être effectuée dans l'intervalle $Hdmin$ et $Hfmax$. La durée de l'IM m , DM_m est connue. Les données sont liées par les relations $Hfmin = Hdmin + DM_m$ et $Hfmax = Hdmax + DM_m$. Sans nuire à la qualité des solutions et pour simplifier les calculs, on considère que les heures sont comptées à partir de l'heure d'ouverture de la salle $HO = 0$.

Données

NC	nombre d'interventions chirurgicales IC
NJ	nombre de jours ouvrables
NM	nombre d'interventions de maintenance IM
NP	nombre de périodes
NS	nombre de salles
DC_c	durée de l'IC c (décontamination incluse)
DM_m	durée de l'IM m (nettoyage inclus)
$Q_{s,j}$	durée disponible de la salle s le jour j
$Hdmax$	heure de début de l'IM m au plus tard
$Hfmin$	heure de fin au plus tôt de l'IM m

$$PIM_{m,s,j} = 1 \text{ si l'IM } m \text{ est programmée en salle } s \text{ le jour } j, 0 \text{ sinon} \quad (3.10)$$

Remarque

$$\sum_{m=1}^{NM} PIM_{m,s,j} = \begin{cases} 1 & \text{s'il y a une IM } m \text{ en salle } s \text{ le jour } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}, s = 1..NS, j = 1..NJ \quad (3.11)$$

Condition de validité des données IM

$$\sum_{m=1}^{NM} PIM_{m,s,j} \leq 1, s = 1..NS, j = 1..NJ \quad (3.12)$$

Variables

$$X_{c,s,j,p} = \begin{cases} 1 & \text{si l'IC } c \text{ est affectée en salle } s \text{ le jour } j \text{ en période } p \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.13)$$

Contraintes

- Affectation d'une IC à un triplet (salle, jour, période p) au plus

$$\sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 X_{c,s,j,p} \leq 1, \quad c=1 \dots NC \quad (3.14)$$

Pour aboutir à un modèle plus concis, nous étudions d'abord les quatre cas suivants :

Cas 1 : en cas d'absence d'IM m en salle s le jour j

La période P1 est la seule considérée en l'absence d'IM dans une salle un jour (figure 3.4).

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,s,j,1} * DC_c \leq Q_{s,j}, \quad s=1 \dots NS, \quad j=1 \dots NJ \quad (3.15)$$

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,s,j,2} * DC_c = 0, \quad (3.16)$$

Cas 2 : les IC sont placées en période 1. La figure 3.7 montre l'intervalle maximum qui revient à la période P1. L'IM définit une ou deux périodes.

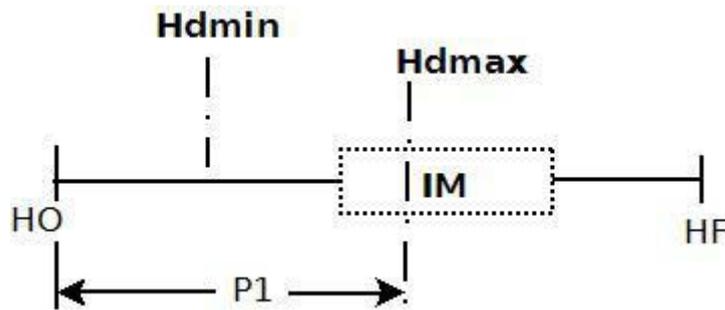


Figure 3.7 : Occupation temporelle maximale de la période P1

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,s,j,1} * DC_c \leq \sum_{m=1}^{NM} Hd \max * PIM_{m,s,j} \quad (3.17)$$

Cas 3 : les IC sont placées en période 2. La figure 3.8 montre l'intervalle maximum qui revient à la période P2.

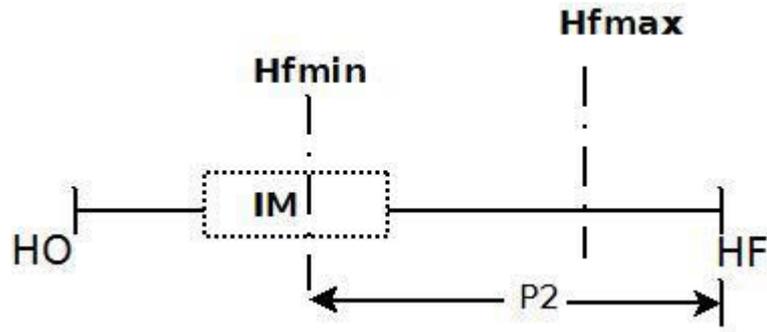


Figure 3.8 : Occupation temporelle maximale de la période P2

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,s,j,2} * DC_c + \sum_{m=1}^{NM} Hf \min * PIM_{m,s,j} \leq Q_{s,j} \quad (3.18)$$

$$s = 1..NS, j = 1..NJ$$

On ne travaille que sur la période P2 (1^{er} terme) de durée maximale second membre – second terme (*Hfmin*).

Cas 4 : L'IM *m* divise la durée d'ouverture de la salle en deux périodes. La figure 3.9 montre l'ajustement des périodes P1 et P2 permettant l'insertion de l'IM. P1 et P2 ne doivent pas se toucher.

Les cas précédents concernent les périodes P1 et P2 individuellement, notamment quand P2 ou P1 ont une durée trop courte pour le placement d'une IC. Maintenant on considère les deux périodes ensemble.

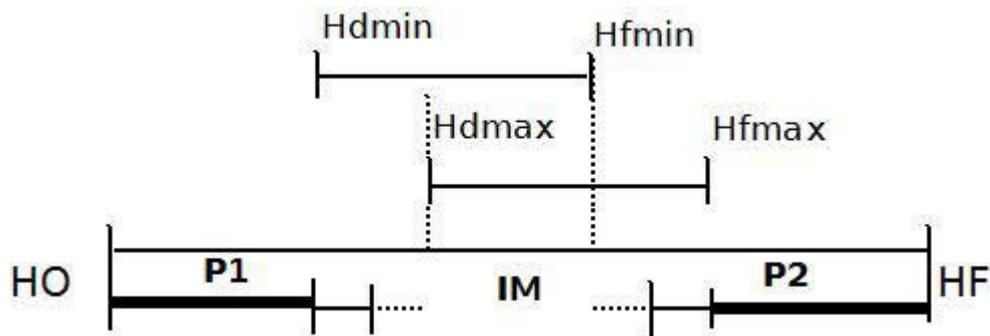


Figure 3.9 : Présence de l'IM

Pour replacer correctement l'IM, il faut que la somme de la durée de l'IM, des interventions chirurgicales de P1 et de P2 ne dépasse pas la durée d'ouverture de la salle.

- Respect de la durée totale d'occupation de la salle s le jour j

$$\sum_{p=1}^2 \sum_{c=1}^{NC} X_{c,s,j,p} * DC_c + \sum_{m=1}^{NM} DM_m * PIM_{m,s,j} \leq Q_{s,j} \quad (3.19)$$

$$s = 1..NS, j = 1..NJ$$

Les inéquations (3.20), (3.21) incluent et remplacent les contraintes (3.15) à (3.18), qu'une IM m soit programmée ou non en salle s le jour j .

- Respect de la durée d'occupation de la période 1

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,s,j,1} * DC_c \leq \sum_{m=1}^{NM} Hd \max * PIM_{m,s,j} + Q_{s,j} * \left(1 - \sum_{m=1}^{NM} PIM_{m,s,j} \right) \quad (3.20)$$

- Respect de la durée d'occupation de la période 2

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,s,j,2} * DC_c + \sum_{m=1}^{NM} Hf \min * PIM_{m,s,j} \leq Q_{s,j} * \sum_{m=1}^{NM} PIM_{m,s,j} \quad (3.21)$$

Il suffit de considérer les cas précédents : aucune IM, une seule période P1, une P2.

Pour justifier ces deux dernières contraintes, a posteriori, examinons les deux cas :

- Absence d'IM le jour j en salle s , $PIM_{m,s,j} = 0$ pour tout m , on retrouve 3.15 et 3.16
- Présence d'une IM m_0 le jour j en salle s , $PIM_{m_0,s,j} = 1$ et $PIM_{m,s,j} = 0$ pour tout $m \neq m_0$, on retrouve 3.17 et 3.18.

Les 2 inégalités précédentes autorisent les deux périodes à empiéter sur la durée de l'IM mais cet effet pervers est contrôlé par 3.19 : la somme des durées des deux périodes et de l'IM ne doit pas dépasser la durée d'ouverture de la salle s le jour j .

En cas d'absence d'IM 3.19 vérifie que la somme des durées d'IC ne dépasse pas la durée d'ouverture de la salle.

Objectif

Minimiser le nombre d'IC non placées

$$NICNP = NC - \sum_{c=1}^{NC} \sum_{s=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{p=1}^2 X_{c,s,j,p} \quad (3.22)$$

3. Block Scheduling BS

Nous avons considéré que les salles opératoires étaient toutes dédiées. Dans ce cas, chaque salle est réservée à un ou à certains types d'interventions chirurgicales. La durée d'utilisation des salles est divisée en plages horaires. Ces plages horaires sont préalablement allouées aux chirurgiens.

Dans le cas de la programmation par allocation des plages ou Block Scheduling, l'outil d'aide à la décision nécessitera les listes des IC, des IM et des plages des chirurgiens. Les disponibilités des chirurgiens seront données par les plages.

L'IM prévue dans une salle dédiée un jour, peut se retrouver soit à l'intérieur d'une plage horaire comme le montre la figure 3.10, dans ce cas, la plage est divisée en deux plages p et p' (figure 3.10 avec P2) qui seront renumérotées ; soit entre deux plages horaires consécutives au plus comme le montre la figure 3.11. Dans ce dernier cas, l'heure de fin d'une des plages sera réduite, pendant que l'heure de début de l'autre plage sera retardée.

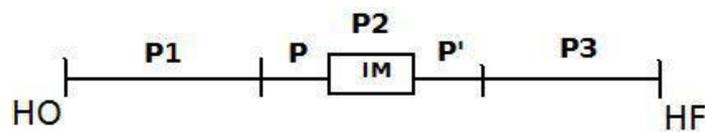


Figure 3.10 : L'IM divise la plage P2 en P et P'

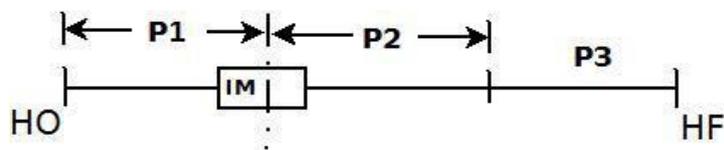


Figure 3.11 : L'IM divise les plages P1 et P2

L'IC nécessite une plage dans une salle. La plage est associée à une salle un jour. La plage appartient au chirurgien. Il faut une compatibilité entre la plage du chirurgien et l'IC. L'IC est associée au chirurgien traitant. Une plage peut recevoir plus d'une IC du même chirurgien. Un chirurgien peut avoir une ou plusieurs plages dans la même salle, ou dans différentes salles compatibles à sa spécialité un jour. La durée d'une plage est au minimum de deux heures.

La pré-allocation des plages horaires aux chirurgiens, permet d'éviter la juxtaposition des plages d'un chirurgien dans le même créneau horaire dans deux salles différentes le même jour.

L'affectation d'une IC sur une plage du chirurgien est effective si la durée de l'IC (décontamination incluse) est inférieure ou égale à la durée disponible restante de la plage.

Les cas traités dans cette section intègrent la spécialité des salles. Les salles et les plages des chirurgiens sont pris en compte dans la construction du planning opératoire.

– 3^{ème} cas : heure de début de maintenance fixée ;

– 4^{ème} cas : heure de début de maintenance variable ;

Les contraintes du cas Block Scheduling suivantes doivent être respectées:

- le respect de la durée disponible de la plage horaire ;
- une IC est affectée au plus à une seule plage ;
- une IM au plus à programmer par salle par jour ;
- la plage doit être compatible à l'IC (chaque plage est associée à un chirurgien, une salle, un jour).

Pour simplifier le problème, quelques hypothèses sont considérées.

3.1. Hypothèses

En plus de H1 et H2, les hypothèses suivantes sont considérées :

H3 L'IC est liée à la plage du chirurgien.

H4 Les plages de la salle s et au jour j ne se recouvrent pas (intersection vide).

H5 Les plages se partagent la durée d'ouverture de la salle (partition, on peut attribuer les reliquats à un chirurgien fictif sans IC).

H6 On considère qu'une IM ne peut modifier la durée que de plages consécutives identifiées (figure 3.11).

Les hypothèses H5 et H6 sont spécifiquement réservées au cas de la maintenance variable.

3.2. Diagramme de classes associé

A l'aide du langage UML, nous avons réalisé une modélisation des données de base du problème relatif uniquement à la construction du planning opératoire dans le cas des salles dédiées. La prise en compte des chirurgiens, en plus des salles dans la construction du planning opératoire est montrée par la figure 3.12.

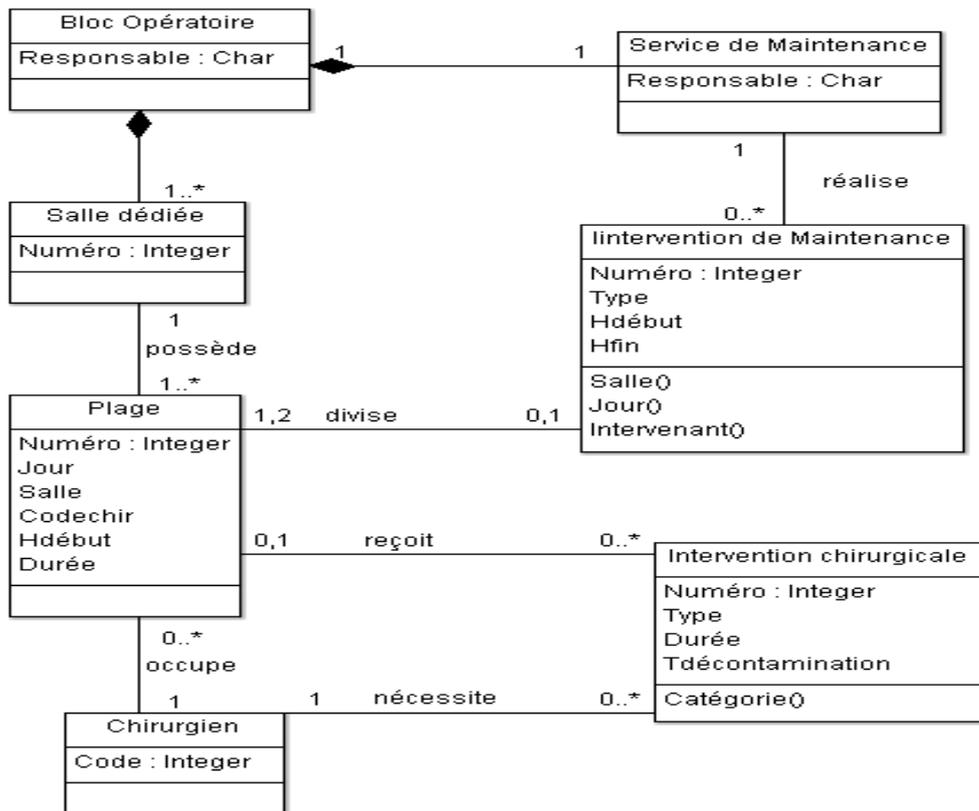


Figure 3.12 : Diagramme de classes associé aux salles dédiées

Une salle dédiée est divisée en plages et peut posséder une ou plusieurs plages un jour. Une plage est allouée à un seul chirurgien. Il faut une compatibilité entre l'intervention chirurgicale et la plage du chirurgien. Le modèle de programmation par allocation préalable des plages est utilisé dans le cas des salles dédiées.

3.3. Heure de début de maintenance fixée

Les salles d'opération et les plages des chirurgiens sont considérées dans ce cas. L'IM est planifiée sur une plage ou sur deux plages consécutives au plus (figures 3.10 et 3.11). Une IM placée sur une plage du chirurgien, divise cette dernière en deux. Les deux parties renumérotées seront considérées comme deux plages distinctes de ce chirurgien.

Formalisation mathématique

Les IM sont placées sur les plages horaires des chirurgiens. Les IC seront affectées dans les plages des chirurgiens traitant.

Données

Les données suivantes sont utilisées.

NS	nombre de salles
NJ	nombre de jours ouvrables de l'horizon
NC	nombre d'interventions chirurgicales IC
NP	nombre de plages
DC_c	durée de l'IC c (décontamination incluse)
DP_p	durée de la plage

$$M_{c,p} = 1 \text{ si l'IC } c \text{ et la plage } p \text{ sont incompatibles, } 0 \text{ sinon} \quad (3.23)$$

Variable

$$X_{c,p} = \begin{cases} 1 & \text{si l'IC } c \text{ est affectée à la plage } p \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.24)$$

Contraintes

- Respect de la durée disponible de la plage

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,p} * DC_c \leq DP_p, \quad p = 1 \dots NP \quad (3.25)$$

- Une IC c est affectée à une seule plage

$$\sum_{p=1}^{NP} X_{c,p} \leq 1, \quad c = 1 \dots NC \quad (3.26)$$

- Les IC ne sont pas affectées à des plages incompatibles

$$\sum_{c=1}^{NC} \sum_{p=1}^{NP} X_{c,p} * M_{c,p} = 0 \quad (3.27)$$

Si $M_{c,p} = 1$ et $X_{c,p} = 1$, alors une IC est affectée à une plage incompatible (le jour, la salle ou le chirurgien n'est pas correct).

Contraintes d'intégrité

$$X_{c,p} \in \{0,1\}, \quad c = 1 \dots NC, \quad p = 1 \dots NP \quad (3.28)$$

Fonction objectif

Minimiser le nombre d'IC non placées

$$NICNP = NC - \sum_{c=1}^{NC} \sum_{p=1}^{NP} X_{c,p} \quad (3.29)$$

3.4. Heure de début de maintenance variable

Formalisation mathématique

La figure 3.13 est une illustration de l'IM avec l'heure de début variable placée sur les plages P₁ et P₂. Ces dernières seront modifiées comme on peut le voir sur la figure ci-dessous. La plage P₁ aura une heure de fin réduite et la plage P₂ aura une de début retardée. Les plages P₁ et P₂ seront remplacées par P' et P''.

Hdp₁= heure de début de la plage P₁ ; **Hfp₁**= heure de fin de la plage P₁ et par analogie à la plage P₂, on a **Hdp₂** et **Hfp₂**.

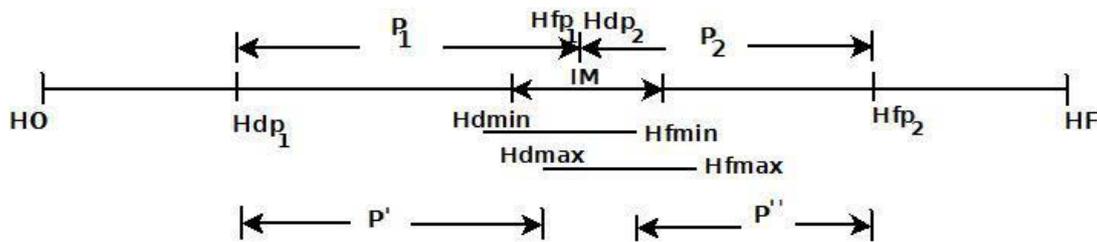


Figure 3.13 : IM planifiée sur 2 plages consécutives P₁ et P₂

Une IM m , planifiée en même temps et dans la même salle que des plages, induit des contraintes pour les interventions chirurgicales à planifier. Les durées des IM, celles des IC et celles des plages sont des données. L'heure de début de l'IM m varie dans le même intervalle de temps $Hdmin$ et $Hdmax$. On considère que l'IM m doit être effectuée dans l'intervalle $Hdmin$ et $Hfmax$. La durée DM_m de l'IM m est connue. Les données sont liées par les relations $Hfmin = Hdmin + DM_m$ et $Hfmax = Hdmax + DM_m$. La présence d'une IM impose l'ajustement des plages p' et p'' qui l'encadrent et la suppression des plages situées dans la même salle entre $Hdmax$ et $Hfmin$.

Au besoin, l'heure de début et l'heure de fin de l'IM peuvent être modifiées par translation afin de se ramener au cas suivant :

$$Hdp' \leq Hfp' = Hdmax \leq Hfmin = Hd_{p''} \leq Hfp''.$$

Données

Les données suivantes sont utilisées.

NC	nombre d'interventions chirurgicales IC
NJ	nombre de jours ouvrables
NP	nombre de plages
NS	nombre de salles
DC_c	durée de l'IC c (décontamination incluse)
DM_m	durée de l'IM m (nettoyage inclus)
JP_p	jour de la plage p
SP_p	salle de la plage p
DP_p	durée de la plage p
Hd_p	heure de début de la plage p
Hf_p	heure de fin de la plage p
$IPP_{s,j}$	indice plage p' pour la salle s le jour j
$IPS_{s,j}$	indice plage p'' pour la salle s le jour j

$$PIM_{m,s,j} = 1 \text{ si l'IM } m \text{ est programmée en salle } s \text{ le jour } j, 0 \text{ sinon} \quad (3.30)$$

$M_{c,p}$ matrice d'incompatibilité de l'IC c avec la plage p

$$M_{c,p} = \begin{cases} 1 & \text{si l'IC } c \text{ est incompatible avec la plage } p \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.31)$$

Condition de validité des données IM :

$$\sum_{m=1}^{NM} PIM_{m,s,j} \leq 1, \quad s=1 \dots NS, j=1 \dots NJ \quad (3.32)$$

Variable

$$X_{c,p} = \begin{cases} 1 & \text{si l'IC } c \text{ est affectée à la plage } p \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.33)$$

Contraintes

– Affectation d'une IC à au plus une plage

$$\sum_{p=1}^{NP} X_{c,p} \leq 1, \quad c=1 \dots NC \quad (3.34)$$

Compatibilité IC et plage

$$\sum_{c=1}^{NC} \sum_{p=1}^{NP} X_{c,p} * M_{c,p} = 0 \quad (3.35)$$

– Respect de la durée de la plage p

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,p} * DC_c * 1_{SP_p=s} * 1_{JP_p=j} \leq DP_p, \quad p=1...NP, j=1...NJ, s=1...NS \quad (3.36)$$

Les indicatrices réduisent la portée de la somme sur c , elles sont des paramètres, des données du modèle. L'intérêt est de formaliser plus simplement le modèle.

En cas d'absence d'IM m en salle s le jour j , il n'est pas nécessaire d'introduire des contraintes supplémentaires et on remarque :

$$\sum_{m=1}^{NM} PIM_{m,s,j} = 1 \text{ si une IM } m \text{ est présente en salle } s \text{ le jour } j, 0 \text{ sinon} \quad (3.37)$$

En cas de présence de l'IM m en salle s le jour j , le respect de la durée totale d'occupation de la salle est inutile. Considérons p' et p'' les deux plages qui encadrent l'IM m ($p' = IPP_{s,j}, m, p'' = IPS_{s,j}$), il suffit de vérifier :

$$\sum_{c=1}^{NC} X_{c,p'} * DC_c + \sum_{m=1}^{NM} DM_m * PIM_{m,s,j} + \sum_{c=1}^{NC} X_{c,p''} * DC_c \leq Hf_{p''} - Hd_{p'} \quad (3.38)$$

Pour une salle sans IM, la relation (3.38) est inutile (3.36 suffit) mais vérifiée avec 2 plages différentes successives. S'il n'y a qu'une plage unique ($p' = p''$) pour une salle sans IM on peut utiliser :

$$\sum_{m=1}^{NM} PIM_{m,s,j} \left(\sum_{c=1}^{NC} X_{c,p'} * DC_c + \sum_{c=1}^{NC} X_{c,p''} * DC_c \right) + \sum_{m=1}^{NM} DM_m * PIM_{m,s,j} \leq Hf_{p''} - Hd_{p'} \quad (3.39)$$

à la place de 3.38 ou, plus simplement, introduire une plage supplémentaire fictive de durée nulle.

Objectif

Minimiser le nombre d'IC non placées

$$NICNP = NC - \sum_{c=1}^{NC} \sum_{p=1}^{NP} X_{c,p} \quad (3.40)$$

Conclusion

Ce chapitre a présenté la méthode de modélisation utilisée pour résoudre le problème traité. Cette présentation est suivie par l'application de la méthode ASCI à la gestion du bloc opératoire, pour l'obtention du modèle de connaissance. Le diagramme entités-associations du problème considéré est donné en figure 3.2. A partir de diagramme, deux autres diagrammes associés aux salles polyvalentes d'une part et aux salles dédiées d'autre part ont également été donnés. A partir des hypothèses et du fonctionnement du système, quatre variantes ont été exposées :

- Open Scheduling avec maintenance fixe OSMF
- Open Scheduling avec maintenance variable OSMV
- Block Scheduling avec maintenance fixe BSMF
- Block Scheduling avec maintenance variable OSMV

Le problème de planification avec affectation des IC et des IM dans les salles est similaire à un problème de bin packing, qui est NP-complet. Les méthodes approchées de type métaheuristiques basées individu sont préférées aux méthodes exactes pour traiter des instances de taille importante. Le chapitre suivant est consacré à la présentation des méthodes approchées utilisées et leurs algorithmes de principe respectifs.

Chapitre 4

Méthodes d'optimisation

Introduction	72
1. Méthodes de résolution pour l'optimisation combinatoire	73
1.1. Méthodes exactes	
1.2. Méthodes approchées	73
1.2.1. Les heuristiques	73
1.2.2. Les métaheuristiques	74
1.2.2.1. La recherche locale	74
1.2.2.2. Descentes déterministe et stochastique	75
1.2.2.3. Recuit simulé homogène et inhomogène	76
1.2.2.4. L'algorithme du kangourou	78
1.2. Techniques d'hybridation	79
1.2.1. Chaînage de méthodes	80
1.2.2. Couplage séquentiel de méthodes	80
1.2.3. Couplage hiérarchique de méthodes	80
2. Le problème du bin packing	80
2.1. Méthodes de résolution du bin packing	81
2.1.1. Formalisation mathématique	81
2.1.2. Les heuristiques	83
2.1.3. Les métaheuristiques	87
3. Analogies avec le problème du bin packing	87
3.1. Cas OS avec heure de début de Maintenance Fixée (OSMF)	87
3.2. Cas OS avec heure de début de Maintenance Variable (OSMV)	88
3.3. Cas BS avec heure de début de Maintenance Fixée (BSMF)	89
3.4. Cas BS avec heure de début de Maintenance Variable (BSMV)	89
4. Proposition de méthodes pour la construction du planning opératoire	90
4.1. Codage d'une solution.....	91
4.1. Codage d'un ordonnancement	91
4.3. Algorithmes de placement.....	92
4.3.1. Algorithmes de placement pour la stratégie Open Scheduling.....	92
4.3.1.1. Open Scheduling avec Maintenance Fixée.....	93
4.3.1.2. Open Scheduling avec Maintenance Variable.....	96
4.3.2. Algorithmes de placement pour la stratégie Block Scheduling.....	98
4.3.2.1. Block Scheduling avec Maintenance Fixée.....	98
4.3.2.2. Block Scheduling avec Maintenance Variable.....	100
4.4. Système de voisinage.....	103
4.5. Métaheuristiques.....	103
4.6. Couplage métaheuristiques - heuristique <i>FF</i>	105
4.6.1. Algorithme de la descente stochastique – heuristique <i>FF</i>	105
4.6.2. Algorithme recuit simulé – heuristique <i>FF</i>	106
4.6.3. Algorithme du kangourou – heuristique <i>FF</i>	106
4.7. Récapitulatif des algorithmes.....	108
Conclusion	108

Introduction

Nous avons décrit le modèle de connaissance de la planification opératoire au chapitre précédent et ensuite réalisé la spécification sous forme de quatre modèles mathématiques. Ces modèles mathématiques font partie du modèle d'action, représentant la deuxième étape de la méthodologie ASCI. Ce chapitre est la suite de la deuxième étape, avec la proposition d'algorithmes de résolution du problème de planification opératoire.

L'optimisation combinatoire trouve des applications dans des domaines aussi variés que la gestion, l'ingénierie, la conception, la production, les télécommunications, les transports, l'énergie, les sciences sociales et l'informatique elle-même, etc. Ses problèmes sont faciles à définir, mais ils sont généralement difficiles à résoudre.

La plupart de ces problèmes appartiennent à la classe des problèmes NP-difficiles et ne possèdent donc pas à ce jour de solution algorithmique efficace valable pour toutes les données (Garey and Johnson, 1979).

Dans la section 1 du chapitre, des méthodes de résolution pour l'optimisation combinatoire utilisées sont exposées. Ensuite, le problème général du bin packing, auquel le problème traité se rapproche, ainsi que ses méthodes de résolution, sont exposés à la section 2. Par la suite, les analogies entre le problème du bin packing et le problème de planification opératoire des deux cas Open et Block Scheduling avec maintenance fixée et variable sont présentés. Enfin, la section 4 est consacrée aux méthodes utilisées pour la construction du planning opératoire.

1. Méthodes de résolution pour l'optimisation combinatoire

Un problème d'optimisation combinatoire est défini par un ensemble d'instances. A chaque instance du problème est associé un ensemble discret de solutions S , un sous-ensemble X de S représentant les solutions admissibles (réalisables), celles qui respectent les contraintes, et une fonction objectif qui assigne à chaque solution $s \in X$ le nombre réel ou entier $f(s)$. Résoudre un tel problème, plus précisément une telle instance du problème, consiste à trouver une solution $s^* \in X$ optimisant la valeur de la fonction objectif f . La solution s^* s'appelle une solution optimale ou un optimum global. La définition suivante est proposée par (Papadimitriou et Steiglitz, 1982):

Une instance I d'un problème de minimisation est un couple (X, f) où $X \subseteq S$ est un ensemble fini de solutions admissibles et f une fonction de coût (ou objectif) à minimiser $f: X \rightarrow R$. Le problème est de trouver $s^* \in X$ tel que $f(s^*) \leq f(s)$ pour tout élément $s \in X$. Par analogie au problème de minimisation, on peut également définir le problème de maximisation en remplaçant simplement \leq par \geq .

1.1. Méthodes exactes

L'objectif du problème étudié qu'il faut atteindre, les contraintes à respecter ainsi que les variables de décisions sont indiqués mathématiquement. La Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) modélise mathématiquement le problème lorsque les objectifs et les contraintes sont linéaires et que les variables sont toutes entières. La Programmation Linéaire (PL) est dite mixte si certaines variables sont entières et d'autres réelles.

Le principe essentiel d'une méthode exacte consiste généralement à énumérer de manière implicite, l'ensemble des solutions de l'espace de recherche afin de trouver celle qui optimise la fonction objectif. Une solution est admissible si elle vérifie toutes les contraintes au problème. Une telle méthode dispose d'heuristiques spécifiques pour améliorer l'énumération des solutions (Grangeon, 2001). Chaque problème possède une grande combinatoire de solutions admissibles. Des méthodes de résolution exactes ont été développées pour optimiser la résolution de ces problèmes. La programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) a été très utilisée dans la littérature étudiée, mais le temps d'exécution, souvent très long, ne permet pas de confirmer le caractère optimal de la solution trouvée.

1.2. Méthodes approchées

L'utilisation de méthodes exactes est parfois rendue impossible, soit quand le nombre de données est trop grand, soit à cause des extensions qui rendent le problème trop complexe pour le résoudre dans des temps convenables.

L'utilisation de méthodes approchées telles que les heuristiques et les métaheuristiques devient alors indispensable pour la résolution du problème. Une heuristique est une méthode spécifique à un problème, alors qu'une métaheuristique est une méthode générique. Une méthode approchée ne garantit pas l'obtention d'une solution optimale mais s'exécute en général plus rapidement qu'une méthode exacte.

Il existe deux types de métaheuristiques : les métaheuristiques basées individu et les métaheuristiques à population. Nous définissons dans cette section, les métaheuristiques basées individu, qui sont les méthodes utilisées dans ce manuscrit. Le principe de chacune des métaheuristiques basées individu est évoqué et l’algorithme de principe présenté. Par la suite, nous présentons les techniques d’hybridation entre ces méthodes.

1.2.1. Les heuristiques

Le mot heuristique vient du grec ancien eurisko (« je trouve ») et qualifie tout ce qui sert à la découverte, à l’invention et à la recherche. Ces méthodes exploitent au mieux la structure du problème considéré dans le but de trouver une solution approchée, de qualité « raisonnable », en un temps aussi faible que possible. Elles trouvent en général une solution approchée à un problème en temps polynomial.

On peut citer les heuristiques très simples comme les algorithmes gloutons (Cormen, 1990), (DeVore et Temlyakov, 1996) ou les approches par amélioration itérative (Basili et Turner, 1975). Le principe des méthodes gloutonnes est de faire une succession de choix des solutions locales optimales, jusqu’à ce que l’on ne puisse plus améliorer la solution, et ce, sans retour en arrière possible. Ce principe assez générique doit être adapté en fonction de la structure du problème. Les heuristiques sont guidées par des spécificités liées au problème posé et en sont donc dépendantes.

1.2.2. Les métaheuristiques

Cette partie est consacrée à la présentation des métaheuristiques basées individu. Une métaheuristique peut-être définie comme étant un schéma algorithmique générique donc pouvant s’adapter à tout type de problèmes (Deroussi, 2002).

Le développement des métaheuristiques est essentiellement dû au succès du recuit simulé et de la recherche tabou. Ces deux méthodes furent les premières à utiliser les techniques permettant de s’extirper des minima locaux en acceptant, sous certaines conditions, des transitions défavorables. Il s’agit d’une classe importante de métaheuristiques basées sur un système de voisinage. Ce dernier est une fonction $V: S \rightarrow \mathcal{P}(S)$ qui affecte à chaque élément $s \in S$ un ensemble de voisins $V(s) \subseteq S$. $V(s)$ est alors appelé le voisinage de s .

1.2.2.1. La recherche locale

Pour traiter un problème d’optimisation avec une méthode de recherche locale, il faut définir préalablement un ou plusieurs systèmes de voisinage. L’application du système de voisinage sur la solution courante définit une nouvelle solution candidate, appelée également voisin. Ce procédé permet de parcourir l’ensemble des solutions. La solution courante et la solution candidate peuvent être comparées au regard de la fonction coût ou du critère de performance $H(x)$.

Selon (Dreo et al., 2014), la recherche locale consiste en une succession de transformations de la solution afin de l’améliorer à chaque fois. Partant d’une solution x_0 , un voisin meilleur sera choisi. La solution devient alors la nouvelle solution de référence.

Le processus est répété tant que la solution est améliorée. L'algorithme 4.1 repris par (Deroussi, 2002) dans ses travaux de thèse, décrit le processus.

Algorithme 4.1 : Algorithme de principe de la recherche locale

Générer une solution initiale x

$Stop := Faux$

Tant que non stop Faire

 Choisir $y \in \underline{V}(x) = \{x' \in V(x) \text{ tel que } H(x') < H(x)\}$

Si $\underline{V}(x) \neq \emptyset$ **Alors** $x := y$ **Sinon stop Fin Si**

Fin tant que

Retourner x

1.2.2.2. Descentes déterministe et stochastique

Nous reprenons la définition de la descente reprise par (Grangeon, 2001) dans ses travaux de thèse. L'algorithme de la descente est une des méthodes de recherche locale les plus anciennes. Son principe consiste à générer une solution y voisine d'une solution courante x selon le système de voisinage V . Si la fonction objectif $H(y)$ est meilleure ou égale à $H(x)$ alors la solution y est acceptée. La génération de y est effectuée selon un mécanisme de visite choisi :

Descente déterministe : le mécanisme de visite est déterministe. Le voisin y est choisi tel que $H(y) < H(x)$. L'algorithme de principe repris par (Grangeon, 2001) est donné par l'algorithme 4.2.

Algorithme 4.2 : Algorithme de principe de la descente déterministe

x est une solution initiale

Répéter

 Soit un voisin $y \in V(x)$

Si $H(y) \leq H(x)$ **Alors**

$x := y$

Fin si

Jusqu'à $\forall z \in V(x), H(z) \geq H(x)$

Descente stochastique : le mécanisme de visite est stochastique. Le voisin y est choisi uniformément et aléatoirement dans $V(x)$. L'algorithme de principe repris par (Grangeon, 2001) est donné par l'algorithme 4.3.

Algorithme 4.3 : Algorithme de principe de la descente stochastique

x est une solution initiale

Répéter

Choisir aléatoirement et uniformément y dans le voisinage $V(x)$

Si $H(y) \leq H(x)$ **Alors**

$x := y$

Fin si

Jusqu'à critère d'arrêt

Dans le cas de la descente déterministe, il existe plusieurs stratégies de choix du voisin. On peut par exemple, énumérer les voisins jusqu'à ce qu'on en découvre un qui améliore strictement. On peut également rechercher le meilleur voisin. Cette dernière stratégie peut sembler plus coûteuse mais le voisin découvert sera généralement de meilleure qualité. La descente déterministe converge vers un minimum local par rapport au système de voisinage V : la méthode s'arrête lorsque la solution courante ne possède pas de voisin strictement meilleur.

L'avantage de la descente est sa simplicité et sa rapidité. Mais les solutions obtenues sont souvent de qualité médiocre. Pour contourner ce problème, la solution la plus simple est la méthode des descentes itérées qui consiste à générer une nouvelle solution de départ de façon aléatoire ou par heuristique et à recommencer une descente. (Hao et al., 1999) font remarquer que cette méthode ne tire aucun profit des optima déjà rencontrés.

1.2.2.3. Recuit simulé homogène et inhomogène (Simulated annealing)

Le recuit simulé permet de contourner l'inconvénient majeur de la descente (convergence vers un optimum local) grâce à la possibilité d'accepter parfois une moins bonne solution. La méthode est inspirée du processus de recuit physique qui, pour améliorer la qualité d'un solide cherche un état d'énergie minimale qui correspond à une structure stable du solide.

Un métal, chauffé à une température très haute, devient liquide. Une phase de refroidissement conduit la matière liquide à retrouver sa forme solide par une diminution progressive de la température. Chaque température est maintenue jusqu'à ce que la matière trouve un équilibre thermodynamique.

Dans le domaine de la physique, la méthode a été proposée par (Metropolis et al., 1953) pour simuler l'évolution du processus de recuit physique. C'est une méthode stochastique qui consiste en la génération d'une suite d'états successifs du système en partant d'un état initial donné. Tout nouvel état est obtenu en faisant subir une perturbation aléatoire à un élément quelconque. Soit ΔE la différence d'énergie occasionnée par une telle perturbation.

Le nouvel état est accepté si l'énergie du système diminue ($\Delta E < 0$). Sinon, il est accepté avec une probabilité :

$$p(\Delta E, T) = \exp(\Delta E / (C_b * T)) \quad (4.1)$$

où T est la température du système et C_b une constante physique connue sous le nom de constante de *Boltzmann*. Après un grand nombre de perturbations, un tel processus fait évoluer le système vers un état d'équilibre thermodynamique selon la distribution de *Boltzmann* qui est définie par la probabilité de se trouver dans un état E :

$$p(E) = c(T) * \exp(-E/(C_b * T)) \quad (4.2)$$

où $c(T)$ est un facteur de normalisation.

La méthode du recuit simulé a été proposée par (Kirkpatrick et al., 1983) pour la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire. Le recuit simulé est une version étendue de la descente stochastique qui cherche des configurations de coût plus faible tout en acceptant de manière contrôlée des configurations qui dégradent la fonction objectif. A chaque itération, un voisin $y \in V(x)$ de la configuration courante x est généré de manière aléatoire. Si $H(y)$ est meilleur ou égal à $H(x)$, alors la solution y est systématiquement acceptée.

Dans le cas contraire, y est accepté avec une probabilité $p(\Delta H, T)$ qui dépend de l'importance de la dégradation $\Delta H = H(y) - H(x)$ (les dégradations faibles sont plus facilement acceptées) et de la température T (une température élevée correspond à une probabilité plus grande d'accepter des dégradations). La température est contrôlée par une fonction décroissante qui définit un schéma de refroidissement. De manière générale, les schémas de refroidissement peuvent être classés en trois catégories :

- **réduction par palier ou recuit simulé homogène** : chaque température est maintenue égale pendant un certain nombre d'itérations et décroît ainsi par paliers. L'algorithme de principe est donné par l'algorithme 4.4. (Aarts et van Laarhoven, 1987), (Lundy et Mees, 1986), (Romeo et Sangiovanni-Vincentelli, 1985) ont montré que les solutions visitées de manière consécutive lors d'un palier peuvent être mobilisées par une chaîne de Markov de longueur L_{T_k} où T_k est la température courante.
- **réduction continue ou recuit simulé inhomogène** : la température est modifiée à chaque itération. Le recuit simulé inhomogène est le recuit simulé avec des paliers de longueur 1. Les résultats théoriques ont été obtenus par (Hajek, 1988)
- **réduction non-monotone** : la température décroît à chaque itération avec des augmentations occasionnelles. Les résultats théoriques ont été par (Hajek, 1988).

L'algorithme de principe du recuit simulé homogène repris par (Boutevin, 2003) dans ses travaux de thèse est présenté par l'algorithme 4.4.

Algorithme 4.4 : Algorithme de principe du recuit simulé homogène

x : solution initiale

rx : solution record (meilleure solution obtenue)

T_k : température à l'itération k

$k := 0$

$rx := x$

Tant que le critère d'arrêt n'est pas atteint **faire**

Choisir aléatoirement et uniformément y dans le voisinage de $V(x)$

Si $H(y) < H(x)$ **Alors** $rx := y$ {Mise à jour du record}

Fin si

Si $H(y) \leq H(x)$ **Alors**

$x := y$ { y devient la solution courante}

Sinon

Si $RND \leq \exp\left(-\frac{H(y)-H(x)}{T_k}\right)$ **Alors**

$x := y$ { y devient la solution courante}

Fin si

$k := k + 1$

détermination de la nouvelle température T_{k+1} en fonction de T_k

Fin si

Fin tant que

1.2.2.4. L'algorithme du kangourou

L'algorithme du kangourou a été proposé dans (Fleury, 1993), dans le but de contourner la difficulté de réglage du recuit simulé d'une part et la convergence vers un optimum local de la descente d'autre part. Chaque descente est basée sur le système de voisinage V . A la fin de chaque descente, nous obtenons une solution d'assez bonne qualité. La particularité du kangourou consiste à se servir de cette solution obtenue comme point de départ d'une nouvelle descente. Ainsi, la solution finale obtenue lors de la descente est légèrement modifiée pour devenir solution initiale de la descente suivante.

La perturbation de cette solution est obtenue en appliquant un système de voisinage W . Ce système de voisinage W doit être assez perturbateur afin de pouvoir sortir d'un minimum local, et assez faible afin de ne pas perdre les informations données dans la solution finale retournée par la précédente descente. L'application de W est appelé un saut du kangourou, du fait de la perturbation effectuée. L'algorithme du kangourou permet ainsi d'éviter de stagner dans un minimum local, comme c'est le cas avec la descente stochastique. En fait, V sert à intensifier la recherche à partir d'un minimum local et W sert à diversifier la recherche pour tester d'autres optima locaux.

L'algorithme de principe de l'algorithme du kangourou repris par (Boutevin, 2003) est donné par l'algorithme 4.5. Si, au cours d'une descente la valeur du critère $H(x)$ de la fonction objectif n'a pas été améliorée depuis A itérations, la descente est arrêtée. A est appelé la longueur de palier et équivaut au nombre maximal d'itérations sans amélioration du critère.

On détermine alors un nouveau voisin y à partir de la dernière solution courante x de la descente, solution finale de cette dernière, en utilisant le système de voisinage W . La solution y est toujours acceptée même si elle est de moins bonne qualité que x . Cette solution y devient solution initiale de la descente suivante. L'algorithme du kangourou converge en probabilité vers l'ensemble des solutions optimales (minima globaux), si et seulement si le système de voisinage W vérifie la propriété d'accessibilité :

$$\forall x \in S, \forall y \in S, \text{ il existe une séquence finie d'états } (U_0, U_1, \dots, U_n) \text{ telle que :}$$

$$U_0 = x, U_n = y, U_k \in W(U_{k-1}) \quad \forall k \in [1, n]$$

Aucune hypothèse n'est requise sur le système de voisinage V . Le système de voisinage W est généralement plus grand que le système de voisinage V . W peut consister à appliquer plusieurs fois V (acceptation de plusieurs transitions favorables ou non).

Algorithme 4.5 : Algorithme de principe de l'algorithme du kangourou

A : nombre maximal d'itérations sans amélioration avant un saut

c : nombre d'itérations sans amélioration

x : solution courante

$rx := x$ { rx est l'état record et $H(rx)$ son critère }

Tant que le critère d'arrêt n'est pas atteint **faire**

Si $c < A$ **Alors** {Descente stochastique}

Choisir aléatoirement et uniformément y dans $V(x)$

Si $H(y) \leq H(x)$ **Alors**

Si $H(y) < H(x)$ **Alors**

$c := 0$

Si $H(y) \leq H(rx)$ **Alors**

$rx := y$ {Mise à jour du record}

Fin si

Fin si

$x := y$ { Y devient solution courante}

Fin si

Sinon {On effectue un saut}

Choisir aléatoirement et uniformément y dans $W(x)$

Si $H(y) \neq H(x)$ **Alors**

Si $H(y) < H(rx)$ **Alors**

{Mise à jour du record}

Fin si

Fin si

{ Y devient solution courante}

Fin si

Fin tant que

1.2. Techniques d'hybridation

Dans la résolution des problèmes NP-difficiles, la combinaison de deux méthodes ou hybridation, a déjà été utilisée (Norre, 2005). Nous conseillons les classifications des métaheuristiques hybrides proposées par (Talbi, 2002) et (Raidl, 2006). Pour (Deroussi et al., 2014) les techniques d'hybridation peuvent être décomposées en trois grandes classes :

- chaînage de méthodes ;
- couplage séquentiel de méthodes ;
- couplage hiérarchique de méthodes.

1.2.1. Chaînage de méthodes

Les deux méthodes A et B sont utilisées de manière séquentielle (figure 4.1). La méthode A résout une partie du problème (par exemple en fixant un sous-ensemble de variables). L'autre partie du problème est résolue par la méthode B.

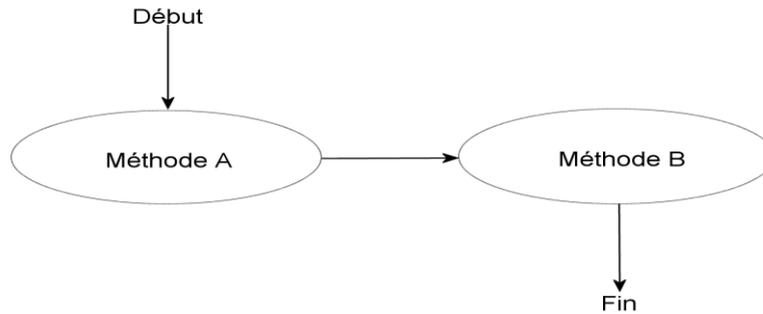


Figure 4.1 : Principe du chaînage de deux méthodes

1.2.2. Couplage séquentiel de méthodes

Les deux méthodes A et B sont utilisées de manière séquentielle et itérative (figure 4.2). Le résultat de la méthode B est réinjecté en entrée de la méthode A, ce qui permet d'itérer le processus de résolution.

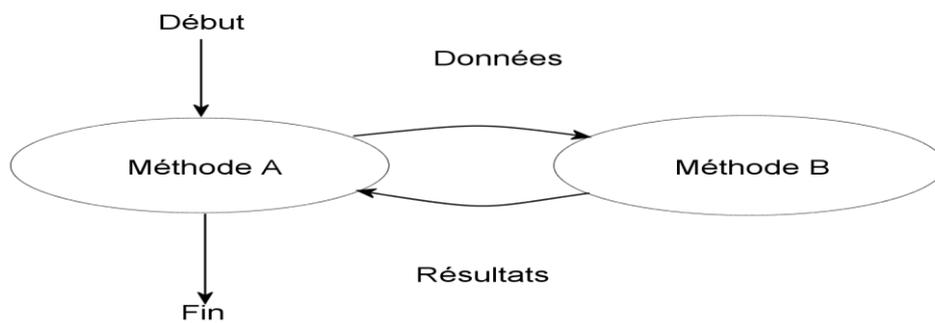


Figure 4.2 : Principe du couplage séquentiel de deux méthodes

1.2.3. Couplage hiérarchique de méthodes

Les méthodes sont utilisées selon un schéma «maître - esclave». Par exemple, la méthode A génère une ou plusieurs solutions dont les critères de performance sont optimisés ou évalués avec la méthode B (figure 4.3).

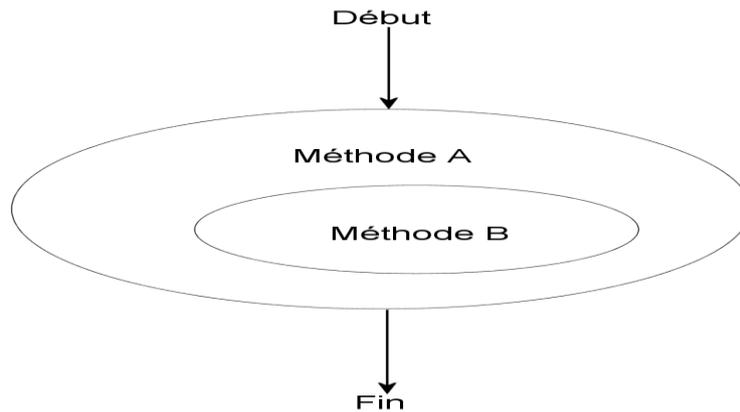


Figure 4.3 : Principe du couplage hiérarchique de deux méthodes

2. Le problème du bin packing

Depuis son introduction en 1973 par Johnson (Johnson, 1973), le problème du bin packing a beaucoup été étudié. Ce problème est un problème de décision NP-Complet (Garey and Johnson, 1979). Le problème d'optimisation associé est NP-difficile : quel est le nombre minimum de boîtes nécessaires pour affecter chaque objet à une et une seule boîte, tout en respectant les contraintes de capacité des boîtes ? Etant donnée la taille des problèmes réels traités, de nombreuses méthodes approchées ont été développées pour le résoudre. Des heuristiques ont été introduites, ainsi que des métaheuristiques.

Le problème du bin packing est toujours étudié, que ce soit concernant l'étude de bornes inférieures (Balogh et al., 2012) ou la proposition de nouvelles résolutions par métaheuristique (Bin et al., 2012).

Définition du problème du bin packing

Le problème du bin packing considère N objets ayant chacun une taille connue et plusieurs boîtes de même capacité. L'objectif est de placer tous les objets dans un nombre minimum de boîtes en s'assurant que la somme des tailles des objets placés dans chaque boîte est inférieure à la capacité de la boîte et en affectant chaque objet dans une et une seule boîte. Ce problème existe aussi en deux et trois dimensions. Seul le cas à une dimension est considéré dans ce manuscrit. Le problème peut être formalisé de la façon suivante.

2.1 Méthodes de résolution du bin packing

Nous présentons la formulation mathématique, les heuristiques du bin packing et quelques métaheuristiques ayant permis de résoudre ce problème d'optimisation combinatoire.

2.1.1. Formalisation mathématique

Données

- N : nombre d'objets à placer
- w_i : la taille de l'objet i
- C : capacité de chaque boîte
- N : le nombre de boîtes disponibles

Variables

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{si la boîte } j \in \{1, N\} \text{ est utilisée} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (4.3)$$

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si l'objet } i \in \{1, N\} \text{ est placé dans la boîte } j \in \{1, N\}, \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (4.4)$$

Contraintes

- Respect de la capacité de chaque boîte

$$\sum_{i=1}^N w_i * x_{i,j} \leq C * y_j, \quad j = 1..N \quad (4.5)$$

- Un objet est affecté à une et une seule boîte

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} = 1, \quad i = 1..N \quad (4.6)$$

- Contraintes d'intégrité

$$y_j \in \{0,1\}, \quad j = 1..N \quad (4.7)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\}, \quad i, j = 1..N \quad (4.8)$$

Objectif

L'objectif est la minimisation du nombre de boîtes utilisées.

$$\sum_{j=1}^N y_j \quad (4.9)$$

2.1.2. Les heuristiques

Cette section est consacrée uniquement aux principales heuristiques de résolution pour le problème du bin packing à une dimension.

Les heuristiques les plus connues et consacrées au bin packing sont Next Fit, First Fit et Best Fit (Coffman et al., 1996), (Scholl, 1999).

Une heuristique est dite gloutonne si une fois qu'elle a pris une décision, elle ne revient jamais dessus. L'algorithme glouton est également appelé greedy algorithm en anglais. C'est une méthode très rapide et qui peut parfois donner de bons résultats. A titre d'exemple, les méthodes Next Fit, First Fit et Best Fit développées par (Johnson, 1973) sont des heuristiques gloutonnes. Deux catégories d'heuristiques sont distinguées :

- Off-line où les objets doivent être tous connus au début de l'utilisation de l'heuristique pour être affectés aux boîtes,
- On-line où l'affectation peut être faite au fur et à mesure de l'arrivée des objets.

Next Fit ou encore rangement séquentiel, notée NF , est une méthode intuitive et typique pour la résolution du problème du bin packing. Elle consiste à placer un maximum d'objets dans la boîte courante. Les objets sont choisis par ordre croissant du numéro. Si l'espace encore disponible dans cette dernière n'est pas suffisant pour l'objet courant, la boîte courante est définitivement fermée. Il ne sera plus possible de placer un autre objet dans cette boîte par la suite. Une nouvelle boîte est alors ouverte et devient ainsi la boîte courante. Cet algorithme peut-être implémenté pour fonctionner en temps linéaire (Coffman et al., 1996). L'algorithme détaillé de NF repris par (Boutevin, 2003) est donné par l'algorithme 4.6. (Johnson, 1973) a défini la garantie de performance de l'heuristique NF , comme précisé dans l'équation 4.10 :

$$NF(L) \leq 2OPT(L) + 1, \quad \forall L \quad (4.10)$$

Où

- L désigne un ensemble d'objets de taille quelconque à placer dans des boîtes toutes de même taille.
- $NF(L)$ est le résultat retourné par l'heuristique Next Fit en termes de nombre de boîtes utilisées.
- $OPT(L)$ représente le nombre de boîtes requises.

Algorithme 4.6 : Algorithme de l'heuristique *NF*

N := nombre d'objets

$L := (a_1, a_2, \dots, a_N)$ = séquence d'objets

$s(a_i)$:= taille de l'objet a_i

K := nombre de boîtes

$B := (b_1, b_2, \dots, b_K)$ = séquence de boîtes

$H(b_j)$:= hauteur de la boîte b_j

$E(b_j)$:= espace libre dans la boîte (initialement $E(b_j) = H(b_j)$)

$O(b_j)$:= liste d'objets affectés à la boîte (initialement $O(b_j) = \emptyset$)

$j := 1$

Pour i variant de 1 à N **faire**

Si $E(b_j) < s(a_i)$ **Alors**

$j := j + 1$

 {Ouverture d'une nouvelle boîte}

Fin si

$O(b_j) := O(b_j) \cup \{a_i\}$

 {Affectation de l'objet à la boîte }

$E(b_j) := E(b_j) - s(a_i)$

Fin pour

 {j représente le nombre de boîtes utilisées}

First Fit, notée *FF*, contrairement à *NF*, les objets sont placés dans la première boîte capable de les recevoir. Une nouvelle boîte n'est considérée que si et seulement si toutes les boîtes précédentes ont été examinées et qu'aucune d'elles n'a assez d'espace disponible pour recevoir l'objet courant. Aucune boîte n'est donc définitivement fermée. Cet algorithme a une complexité quadratique en temps dans le pire des cas (Corcoran, 1995) : $O(N \log(N))$. L'algorithme détaillé de *FF* repris par (Boutevin, 2003) est exposé par l'algorithme 4.7. Dans (Coffman et al., 1996), une garantie de performance de l'heuristique est donnée.

$$FFL(L) \leq \frac{17}{10} * OPT(L) + 3, \quad \forall L \quad (4.11)$$

($FF(L)$ représente le nombre de boîtes utilisées, pour un ensemble d'objets L , en appliquant l'heuristique *FF*).

Algorithme 4.8 : Algorithme de l'heuristique *BF*

N := nombre d'objets

$L := (a_1, a_2, \dots, a_N)$ = séquence d'objets

$s(a_i)$:= taille de l'objet a_i

K := nombre de boîtes

$B := (b_1, b_2, \dots, b_K)$ = séquence de boîtes

$H(b_j)$:= hauteur de la boîte b_j

$E(b_j)$:= espace libre dans la boîte (initialement $E(b_j) = H(b_j)$)

$O(b_j)$:= liste d'objets affectés à la boîte (initialement $O(b_j) = \emptyset$)

$j_{\max} := 0$

$E(b_0) := +\infty$ {Boîte fictive de taille infinie}

Pour i variant de 1 à N **faire**

$j_{\text{best}} := 0$ {Recherche de la meilleure boîte}

Pour j variant de 1 à j_{\max} **faire**

Si $(E(b_j) \geq s(a_i))$ **et** $(E(b_j) - s(a_i) < E(b_{j_{\text{best}}}) - s(a_i))$ **Alors**

$j_{\text{best}} := j$

Fin si

Fin pour j

Si **Alors**

{Si aucune boîte ouverte ne peut recevoir l'objet }

$j_{\max} := j_{\max} + 1$

$j_{\text{best}} := j_{\max}$

Fin si

$O(b_{j_{\text{best}}}) := O(b_{j_{\text{best}}}) \cup \{a_i\}$ {Affectation de l'objet à la meilleure boîte}

$E(b_{j_{\text{best}}}) := E(b_{j_{\text{best}}}) - s(a_i)$

Fin pour i { j_{\max} désigne le nombre de boîtes utilisées }

Des variantes ont été proposées pour les heuristiques Next Fit, First Fit et Best Fit :

Les objets peuvent être considérés selon un certain ordre de priorité. L'ordre de priorité consistant à trier les objets par taille décroissante permet d'obtenir les algorithmes (Coffman et al., 1996), (Scholl, 1999) :

- Next Fit Decreasing (NFD);
- First Fit Decreasing (FFD);
- Best Fit Decreasing (BFD).

Nous avons les garanties de performance suivantes (Garey et Johnson, 1979) :

$$FFD(L) = \frac{11}{9} * OPT(L) + 4, \forall L \quad (4.13)$$

$$BFD(L) \leq \frac{11}{9} * OPT(L) + 4, \forall L \quad (4.14)$$

Où $FFD(L)$ (respectivement $BFD(L)$) désigne le nombre de boîtes utilisées, pour un ensemble d'objets L , en utilisant l'heuristique First Fit Decreasing (respectivement Best Fit decreasing).

2.1.3. Les métaheuristiques

Les métaheuristiques sont utilisées dans la résolution des problèmes du bin packing depuis les années 1990. (Klement, 2014) a présenté un état de l'art sur les métaheuristiques déjà utilisées dans cette résolution du problème du bin packing. Elle a distingué les métaheuristiques basées individu et les métaheuristiques basées population. La fonction objectif la plus utilisée est le nombre de boîtes utilisées, qui est qualifiée de fonction objectif classique. Le codage le plus couramment rencontré utilise la solution $X=(X_i)_{i \in \{1, N\}}$, avec X_i le numéro de la boîte où l'objet i est affecté. Ce codage est qualifié de classique. Différentes métaheuristiques basées individu ont été présentés dans cette thèse.

3. Analogies avec le problème du bin packing

Les quatre modèles du problème de la planification opératoire que nous traitons dans ce manuscrit ont été présentés dans le chapitre précédent. Ce problème comme évoqué précédemment a des similitudes avec le problème du bin packing. Il faut rappeler que les différents modèles dépendent de la stratégie de programmation Open scheduling (OS) ou Block Scheduling (BS) et de l'heure de début de la maintenance, selon qu'elle est fixée ou variable. Les analogies suivantes entre le problème de planification opératoire et celui du bin packing sont récapitulées dans les tableaux 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4.

3.1. Cas OS avec heure de début de Maintenance Fixée (OSMF)

Nous plaçons des IC dans des salles un jour déterminé. Il y a des IM de durée fixe à date fixe. L'heure de début des IM est fixée. L'affectation des IC s'effectue après le placement de l'IM dans une salle un jour. La présence d'une IM dans une salle un jour réduit sa disponibilité, par exemple si l'heure de début de l'IM coïncide avec l'heure d'ouverture de la salle ou si l'heure de fin de l'IM coïncide avec l'heure de fermeture de la salle. L'IM prévue dans une salle un jour remodèle la durée de disponibilité de la salle définissant ainsi une ou deux périodes fixes d'utilisation.

	Problème du bin packing	Planification opératoire
Données	Objet	Intervention chirurgicale (IC)
	Boîte	Période (P)
	Taille d'un objet	Durée IC
	Taille d'une boîte	Durée disponible de P par salle/jour calculée en fonction de la durée de l'IM placée avant les IC
Problème	Affecter les objets aux boîtes	Affecter les IC aux périodes
Contrainte	Contrainte de la taille des boîtes	Durée disponible de la période
Critère	Minimiser le nombre de boîtes utilisées	-
	-	Minimiser <i>NICNP</i>

Tableau 4.1 : Analogies entre le bin packing et le cas OSMF

3.2. Cas OS avec heure de début de Maintenance Variable (OSMV)

Nous maintenons une durée et une date fixées pour chaque IM mais l'heure de début d'IM devient variable pour introduire une certaine flexibilité dans le placement des IC et tenter de placer un nombre plus important d'IC. La figure 4.4 est une illustration du cas.

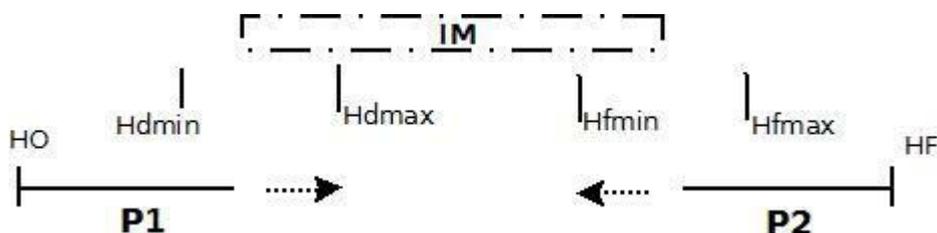


Figure 4.4. IM divise la salle en deux périodes P1 et P2

HO : heure d'ouverture salle ;

HF : heure de fermeture salle

On autorise $H_{fin}P1 \leq H_{dmax}$, $H_{deb}P2 \geq H_{fmin}$ mais la somme des durées réelles de P1, P2 et de IM ne doit pas dépasser $HF - HO$. Ceci est contrôlé lors du placement d'IC dans les périodes qui précèdent ou suivent l'IM. L'IM est positionnée en même temps que les IC.

	Problème du bin packing	Planification opératoire
Données	Objet	Intervention chirurgicale (IC)
	Boîte	Période (P)
	Taille d'un objet	Durée IC
	Taille d'une boîte	Durée disponible de P par salle/jour calculée en fonction des heures Hd_{max} et Hf_{min} de l'IM à placer (cf. Fig. 4.4)
	Problème	Affecter les objets aux boîtes
Contrainte	Affecter les IC aux périodes	Durée disponible de la période et durée d'ouverture de la salle (HF – HO)
Critère	Minimiser le nombre de boîtes utilisées	-
	-	Minimiser $NICNP$

Tableau 4.2 : Analogies entre le bin packing et le cas OSMV

3.3. Cas BS avec heure de début de Maintenance Fixée (BSMF)

Ici, les IC sont affectées aux plages horaires allouées aux chirurgiens.

	Problème du bin packing	Planification opératoire
Données	Objet	Intervention chirurgicale (IC)
	Boîte	Plage (P)
	Taille d'un objet	Durée IC
	Taille d'une boîte	Durée disponible de la plage par salle/jour calculée en fonction de la durée de l'IM placée avant les IC
	Problème	Affecter les objets aux boîtes
Contrainte	Contrainte de la taille des boîtes	Durée disponible de la plage
	-	Compatibilité entre IC et plage
Critère	Minimiser le nombre de boîtes utilisées	-
	-	Minimiser $NICNP$

Tableau 4.3 : Analogies entre le bin packing et le cas BSMF

3.4. Cas BS avec heure de début de Maintenance Variable (BSMV)

Les IC sont liées aux chirurgiens et affectées aux plages de ces derniers. La présence d'une IM dans une salle divise une ou deux plages consécutives au plus. Les plages sont remodelées. Le tableau 4.4 est une illustration des analogies entre le problème de planification opératoire et celui du bin packing.

Nous accordons une flexibilité à l'heure de début de maintenance avec pour objectif ultime de planifier le maximum d'IC. Nous maintenons une durée et une date fixées pour chaque IM mais l'heure de début d'IM devient variable. La figure 4.5 est une illustration du cas.

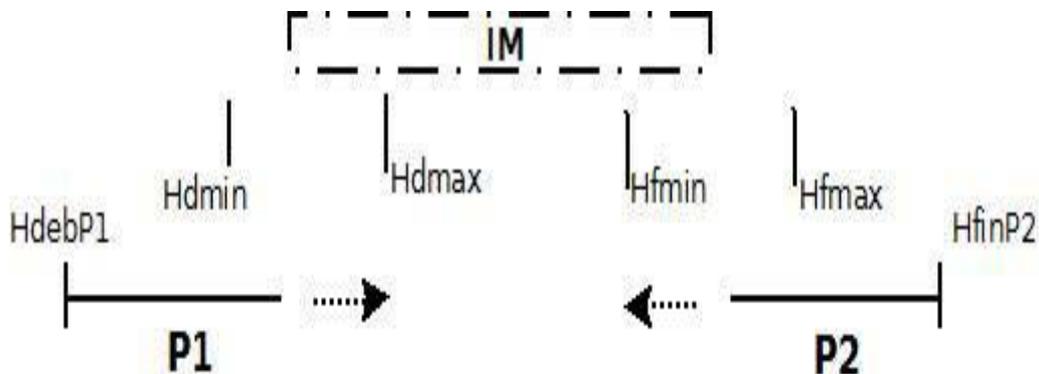


Figure 4.5. IM divise la plage P en P1 et P2

On autorise $HfinP1 \leq Hdmax$, $HdebP2 \geq Hfmin$ mais la somme des durées réelles de P1, P2 et de IM ne doit pas dépasser $HfinP2 - HdebP1$. Ceci est contrôlé lors du placement d'IC dans les plages qui précèdent ou suivent l'IM. L'IM est positionnée en même temps que les IC.

	Problème du bin packing	Planification opératoire
Données	Objet	Intervention chirurgicale (IC)
	Boîte	Plage (P)
	Taille d'un objet	Durée IC
	Taille d'une boîte	Durée disponible de la plage par salle/jour calculée en fonction des heures $Hdmax$ et $Hfmin$ de l'IM à placer (cf. Fig. 4.5)
Problème	Affecter les objets aux boîtes	Affecter les IC aux plages
Contrainte	Contrainte de la taille des boîtes	Durée disponible de la plage (si aucune IM à placer) et $HfinP2 - HdebP1$ (si IM divise la plage en P1 et P2) (cf. Fig. 4.5)
	-	Compatibilité entre IC et P
Critère	Minimiser le nombre de boîtes utilisées	-
	-	Minimiser $NICNP$

Tableau 4.4 : Analogies entre le bin packing et le cas BSMV

4. Proposition de méthodes pour la construction du planning opératoire

Dans cette section, nous présentons les différents codages utilisés. Certaines heuristiques, métaheuristiques et techniques d'hybridation présentées dans la section 1 de ce chapitre sont appliquées à la résolution du problème de planification opératoire. Concernant les métaheuristiques, la descente stochastique, le recuit simulé et l'algorithme du kangourou sont appliqués.

4.1. Codage d'une solution

Soit Ω l'ensemble des solutions X . Il y a NC (nombre d'IC) lignes * NP (nombre de plages ou périodes) colonnes. $X = (X_{1,1}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{NC, NP})$

$X_{i,j} := 1$ si l'IC i est affectée dans la plage ou dans la période j , 0 sinon.

Pour évaluer un critère tel que *NICP* (nombre d'IC placées), on va compter le nombre de 1 d'une solution de X . $H(X) = NC - (\text{nombre de 1 de } X)$. Il y a d'autres critères tel que *NICNP* (nombre d'IC non placées) = $NC - NICP$, et *DUS* (durée d'utilisation des salles) qui est la somme des durées des numéros d'IC placées d'une solution X .

4.2. Codage d'une séquence

On ne travaille pas directement avec une solution X . On va générer une solution à partir d'une séquence Y . Soit Ω' l'ensemble des séquences Y d'IC. Une séquence d'IC est un n-uple de numéros d'IC. Une séquence est représentée par le vecteur $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$ avec Y_i l'IC placée à la position i . Pour obtenir une solution X , on va utiliser un algorithme de placement L qui va affecter chaque numéro d'IC dans une plage ou dans une période d'une salle. Ainsi une solution X sera générée. La métaheuristique intègre l'heuristique dans son processus comme le montre la figure 4.6. On a un séquence initiale Y qui est une liste d'interventions chirurgicales. Y est envoyé à l'algorithme de placement qui affecte les interventions chirurgicales dans les plages ou périodes des salles opératoires et renvoie une solution X qui est transmise à la métaheuristique. Cette dernière génère une nouvelle séquence Y' qui est envoyée à l'algorithme de placement. Ce dernier retourne X' à la métaheuristique. La métaheuristique génère une nouvelle séquence à partir de Y ou Y' suivant les valeurs $H(X)$ et $H(X')$. le processus continue jusqu'à une condition d'arrêt.

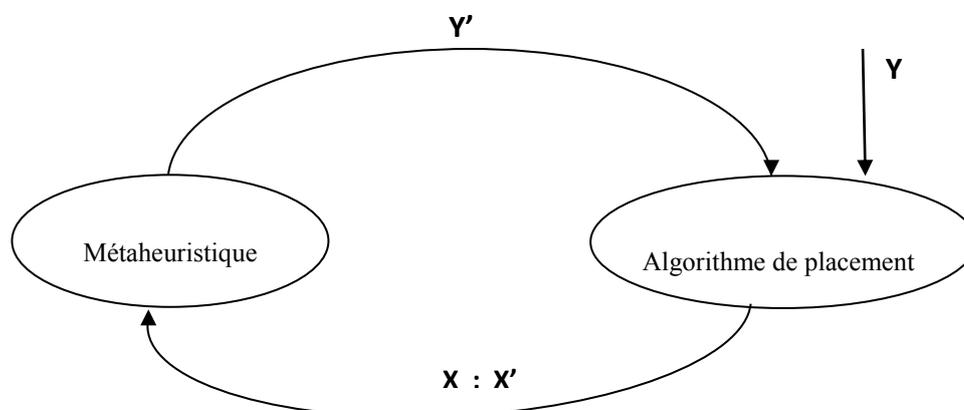
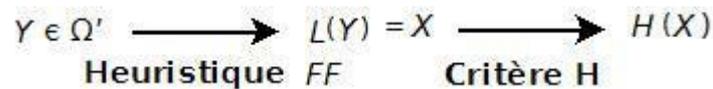


Figure : 4.6. Couplage métaheuristique – Algorithme de placement

Le schéma de principe de l'évaluation d'une solution est le suivant :



L'heuristique est appliquée sur une séquence Y , une solution X est générée et évaluée par l'heuristique qui envoie à la métaheuristique le critère pour l'améliorer. Cette dernière va effectuer une permutation entre les numéros des IC de la liste pour obtenir une nouvelle séquence Y' qui est envoyée à l'heuristique pour générer une nouvelle solution.

4.3. Algorithmes de placement

Le planning opératoire est construit par l'affectation des IC dans les salles. Cette construction du planning a besoin d'une stratégie de programmation. L'algorithme de placement a pour rôle de construire ce planning. Dans le chapitre 3, nous avons présenté les quatre modèles traités. Nous présentons d'abord les algorithmes de placement dans la stratégie Open Scheduling et ensuite ceux de la stratégie Block Scheduling.

4.3.1. Algorithmes de placement pour la stratégie Open Scheduling

Le principe des heuristiques consiste à affecter les IC dans les salles opératoires, où les interventions de maintenance ont été placées au préalable, en respectant la contrainte de la durée d'ouverture des salles.

Pour construire le planning opératoire, nous avons utilisé les heuristiques du bin-packing présentées en section 2 de ce chapitre. La construction du planning opératoire dans le cas Open Scheduling se fait à partir de :

- l'horizon en jours, le nombre des salles et leur durée d'ouverture ;
- la liste d'interventions de maintenance de durée Dm_m ;
- la liste d'interventions chirurgicales de durée DC_c (décontamination incluse).

Pour effectuer une affectation d'IC dans les salles, nous avons considéré les trois heuristiques de base First Fit FF, Next Fit NF et Best Fit BF. Nous présentons brièvement l'utilisation de ces heuristiques reprise par (Klement, 2014) dans ses travaux de thèse, dans le processus d'affectation des IC :

- l'heuristique Next Fit NF, est la méthode de résolution la plus intuitive. Elle consiste à affecter un maximum d'IC dans la salle courante. Les IC sont choisies par ordre croissant du numéro. Si l'espace disponible dans la première période de la salle n'est pas suffisant pour l'IC courante, on passe à la deuxième période de la salle, si l'espace disponible dans la deuxième période n'est pas suffisant pour l'IC courante la salle courante est définitivement fermée et une nouvelle salle est ouverte. Cette nouvelle salle devient la salle courante.

- l’heuristique First Fit, notée *FF* diffère de l’heuristique précédente dans le sens où aucune salle n’est définitivement fermée. Les IC sont toujours parcourues par ordre croissant du numéro. Chaque IC est placée dans la première période pouvant la contenir. Dès qu’une IC ne rentre dans aucune période d’une salle, une nouvelle salle est considérée. Lorsque les IC sont triées en ordre croissant ou décroissant de leur durée, on a le First Fit Increasing *FFI* ou Decreasing *FFD*.
- l’heuristique Best Fit, notée *BF*, place les IC dans la meilleure période ayant assez d’espace disponible. Pour une IC courante, la meilleure période est celle avec le moins d’espace encore disponible après l’affectation de l’IC.
- l’heuristique First Fit Decreasing *FFD* procède d’abord au tri des IC par ordre décroissant de leur durée puis à leur affectation comme en heuristique *FF*. La priorité ici est accordée aux IC de longue durée. Lorsque le tri est fait par ordre croissant, on a le First Fit Increasing *FFI*. Dans ce cas la priorité est accordée aux IC de courte durée.
- l’heuristique Best Fit Decreasing *BFD* traite les IC triées par ordre décroissant de leur durée. L’affectation d’une IC s’effectue dans la période ayant la plus petite durée de disponibilité. Les IC peuvent aussi être triées par ordre croissant, on a dans ce cas le Best Fit Increasing *BFI*.

L’algorithme de principe de l’heuristique *FF* du cas Open Scheduling, avec l’heure de début de maintenance fixée est donné par l’algorithme 4.9.

4.3.1.1. Open Scheduling avec maintenance fixée

Pour faciliter la compréhension de l’algorithme, nous présentons une illustration de ce cas avec la figure 4.7. La présence de l’IM divise la salle en deux périodes P1 et P2. Il faut préciser que l’heure de début de l’IM (*Hdeb*) est fixée. Le problème a été étudié avec les heuristiques *FF*, *BF* et *NF* OSMF.

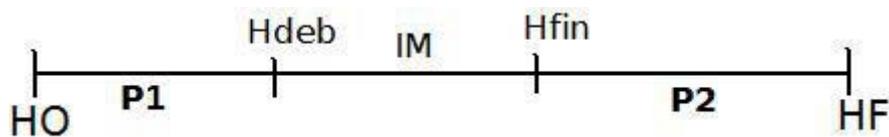


Figure 4.7 : Partition de la salle par la présence de l’IM en deux périodes P1 et P2

Algorithme de principe 4.9 - FF OSMF

Lecture des données

Calcul de DP

{Tableau de durée de période calculée à partir de la durée de l'IM placée}

{L'IM placée partage l'intervalle d'ouverture en 2 périodes}

DPD := DP {Durée restant disponible dans les périodes horaires}

NICNP := NC {Nombre d'IC restant à placer}

X := 0 {Aucune IC encore placée}

Pour c de 1 à NC {Pour chaque IC}

Pour j de 1 à NJ {Pour chaque jour}

Pour s de 1 à NS {Pour chaque salle}

Pour p de 1 à 2 {Pour chaque période}

Si DC(c) <= DPD(j,s,p) **Alors**

 {Si la durée de l'IC <= la durée disponible de la période}

 NICNP := NICNP - 1 {L'IC c est placée}

 X(c,j,s,p) := 1 {le jour j en salle s période p}

 DPD(j,s,p) := DPD(j,s,p) - DC(c) {Mise à jour durée disponible période p}

 p := 2 ; s := NS ; j := NJ {Pour sortir après la boucle en j}

 {L'IC c étant placée on sort de plusieurs boucles pour passer à l'IC suivante}

Fin si

Fin pour p

Fin pour s

Fin pour j

Fin pour c

Les heuristiques *FFD*, *NFD*, *BFI* et *BFD* ne sont pas présentées car ce sont des variantes simples des heuristiques *FF*, *NF* et *BF*. Elles sont basées sur un pré-tri des IC en ordre croissant ou décroissant puis application de *FF*, *NF* ou *BF*.

L'algorithme de principe de l'heuristique **Next Fit Increasing** *NFI* est donné par l'algorithme 4.10.

Algorithme de principe 4.10 - First Fit Increasing *FFI* ou Next Fit Increasing *NFI* OSMF

Lecture des données

Tri des IC par ordre croissant sur leur durée

Appliquer l'heuristique **First Fit** *FF*

L'algorithme de principe de l'heuristique **Best Fit** *BF* est donné par l'algorithme 4.11.

Algorithme de principe 4.11 - BF OSMF

Lecture des données

Calcul de DP

{Tableau de durée de période calculée à partir de la durée de l'IM placée}

DPD := DP {Durée restant disponible dans les périodes horaires}

NICNP := NC {Nombre d'IC à placer}

NL = NJ * NS * 2 {Nombre de triplets (j, s, p), leur durée peut être nulle}

X := 0 {Aucune IC encore placée}

Création de la table Indice

{Pour chaque période, on a sa durée DPD et 3 indices (jour, salle, N° de la période)}

{Chaque ligne de la table donne les indices j, s, p d'une période horaire}

Trier DPD et Indice en ordre croissant selon DPD

Pour c de 1 à NC {Pour chaque IC}

Pour L de 1 à NL {Pour chaque ligne}

 J := Indice(L,1) ; s := Indice(L,2) ; p := Indice(L,3)

Si DC(c) <= DPD(j,s,p) **Alors**

 {Si la durée de l'IC <= la durée disponible de la période}

 NICNP := NICNP - 1 {L'IC c est placée}

 X(c,j,s,p) := 1 {le jour j en salle s période p}

 DPD(j,s,p) := DPD(j,s,p) - DC(c) {Mise à jour durée disponible}

 Déplacer la ligne L de DPD et Indice pour conserver l'ordre croissant sur DPD

 {L'IC placée sur une période Q, sa durée DPD(Q) diminue. DPD(Q) et les 3 indices, j, s, p doivent être déplacés pour maintenir l'ordre croissant sur DPD}

 L = NL {Pour sortir de la boucle en L}

Fin si

Fin pour L

Fin Pour c

L'algorithme de principe de l'heuristique **Best Fit Increasing BFI** ou **Best Fit Decreasing BFD** est donné par l'algorithme 4.12.

Algorithme de principe 4.12 - Best Fit Increasing ou Decreasing OSMF

On trie les IC en ordre croissant BF Increasing ou en ordre décroissant BF Decreasing sur leur durée puis l'algorithme 4.11 est appliqué.

L'algorithme de principe de l'heuristique **Next Fit NF** est donné par l'algorithme 4.13.

Algorithme de principe 4.13 - NF OSMF

Lecture des données

Calcul de DP

{Tableau de durée de période calculée à partir de l'IM placée}

DPD := DP {Durée restant disponible dans les périodes horaires}

NICNP := NC {Nombre d'IC restant à placer}

NL := NJ * NS * 2 {Nombre de triplets (j, s, p), leur durée peut être nulle}

Création de la table Indice

{Pour chaque période, on a sa durée DPD et 3 indices (jour, salle, N° de la période)}

{Chaque ligne de la table donne les indices j, s, p d'une période horaire}

Ld := 1 {Début d'exploration en ligne Ld}

X := 0 {Aucune IC encore placée}

Pour c de 1 à NC {Pour chaque IC}

Pour L de Ld à NL {Pour chaque ligne}

j := Indice(L, 1) ; s := Indice(L, 2) ; p := Indice(L, 3)

Si DC(c) <= DPD(j,s,p) **Alors**

{Si la durée de l'IC <= la durée disponible de la période}

NICNP := NICNP - 1 {L'IC c est placée}

X(c,j,s,p) := 1 {le jour j en salle s période p}

DPD(j,s,p) := DPD(j,s,p) - DC(c) {Mise à jour durée disponible}

Ld := L {Nouvelle ligne début}

L=NL {Pour sortir de la boucle en L}

Fin si

Fin pour L

Fin pour c

4.3.1.2. Open Scheduling avec Maintenance Variable

Comme déjà évoqué précédemment, l'IM divise la salle en périodes P1 et P2, et a une heure de début qui varie dans l'intervalle [H_{dmin} , H_{dmax}]. Pour faciliter la compréhension de l'algorithme de placement de ce modèle, nous présentons la figure 4.8.

Nous avons gardé l'initialisation de DP et la gestion de la contrainte supplémentaire définie dans l'algorithme *FF OSMV*. La variable QS correspond à la durée d'ouverture de la salle s le jour j . La durée QM est utilisée pour vérifier la contrainte du modèle. L'algorithme de principe de l'heuristique *FF* du cas Open Scheduling, avec l'heure de début de maintenance variable est donné par l'algorithme 4.14.

On peut placer les IC dans la période P1 de HO à H_{dmax} , ainsi que dans la période P2 de H_{fmin} à HF. Mais on doit laisser de la place à l'IM et vérifier la contrainte suivante : somme des durées des IC de P1 + somme des durées des IC de P2 + durée de l'IM <= durée d'ouverture de la salle. Cette contrainte est expliquée au chapitre 3 par l'équation 3.23.

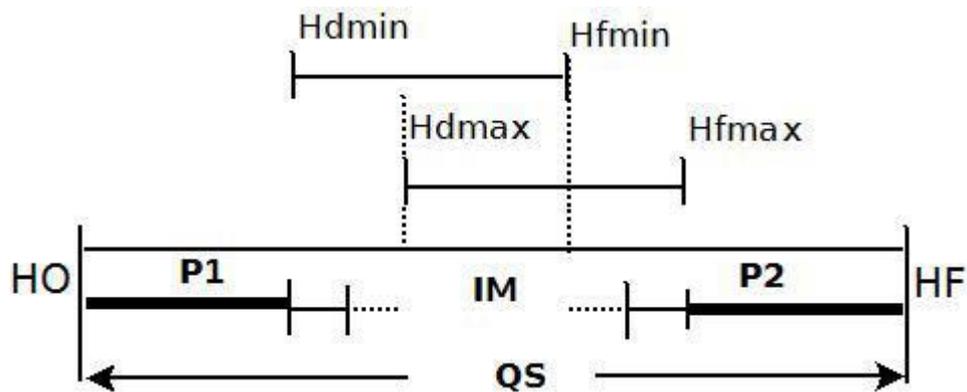


Figure 4.8 : Partition de la salle en deux périodes P1 et P2 par une IM avec heure de début variable

Algorithme de principe 4.14 - FF OSMV

Lecture des données

Calcul de DP

{Tableau de durée de période, calculée en fonction de Hdmax et Hfmin de l'IM à placer}

Calcul de QM {Durée d'ouverture salle modifiée $QS(j,s)+Hdmax-Hdmin$ de l'IM m }

DPD := DP {Durée restant disponible, a priori, dans les périodes horaires}

NICNP := NC {NC IC restant à placer}

X := 0 {Aucune IC encore placée}

Pour c de 1 à NC {Pour chaque IC}

Pour j de 1 à NJ {Pour chaque jour}

Pour s de 1 à NS {Pour chaque salle}

Pour p de 1 à 2 {Pour chaque période}

Si $DC(c) \leq DPD(j,s,p)$ et $DM(m) + DC(c) + DPD(j,s,1) + DPD(j,s,2) \leq QM(j,s)$ **Alors**

 {Si durée de l'IC \leq durée disponible période et si somme des durées d'IM et d'IC en période 1 et 2 \leq durée d'ouverture modifiée salle s jour j}

 NICNP := NICNP - 1 {L'IC c est placée}

$X(c,j,s,p) := 1$ {le jour j en salle s période p}

$DPD(j,s,p) := DPD(j,s,p) - DC(c)$ {Mise à jour durée disponible}

 p := 2 ; s := NS ; j := NJ {Pour sortir de la boucle en j}

Fin si

Fin pour p

Fin pour s

Fin pour j

Fin pour c

4.3.2. Algorithmes de placement pour la stratégie Block Scheduling

L'heuristique *FF* est la seule utilisée dans ce cas car elle ne modifie pas la séquence d'IC proposée à chaque itération des métaheuristiques. Elle n'effectue pas le tri. Chaque IC est associée à un chirurgien. Chaque plage est associée à un chirurgien. Une plage est compatible avec une IC lorsqu'elles concernent le même chirurgien.

La construction du planning opératoire dans le cas de Block Scheduling se fait à partir de :

- l'horizon en jours, le nombre des salles et leur durée d'ouverture ;
- la liste d'interventions de maintenance de durée Dm_m ;
- la liste d'interventions chirurgicales de durée DC_c ;
- la liste des plages allouées aux chirurgiens et leur durée.

4.3.2.1. Block Scheduling avec Maintenance Fixée

L'algorithme de principe des heuristiques du cas Block Scheduling avec l'heure de début de maintenance fixée est donné par l'algorithme 4.15 pour l'heuristique *FF*. Pour effectuer une affectation d'IC, on explore d'abord les jours, ensuite les salles et après les plages.

Pour faciliter la compréhension de l'algorithme 4.15, nous présentons de nouveau, les différentes positions que l'IM peut occuper sur une plage ou sur deux plages consécutives au plus.

1^{ère} position : le cas où l'IM est placée au début de la plage est illustré par la figure 4.9.

HdP : heure de début de la plage ; **HfP** : heure de fin de la plage ; **DPD** : durée restant disponible de la plage.

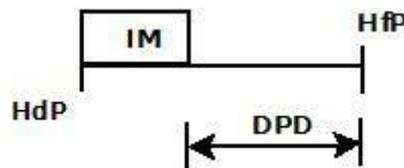


Figure 4.9 : l'IM placée au début de la plage horaire

2^{ème} position : le cas où l'IM est placée à la fin de la plage est illustré par la figure 4.10.

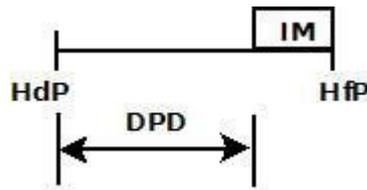


Figure 4.10 : l'IM placée à la fin de la plage horaire

3^{ème} position : le cas où l'IM divise la plage P en deux plages P₁ et P₂ est illustré par la figure 4.11.

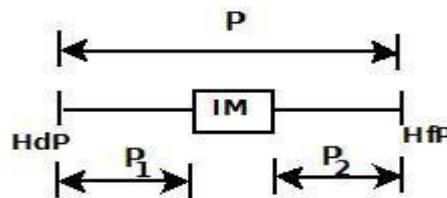


Figure 4.11 : l'IM placée au milieu de la plage horaire

4^{ème} position : le cas où l'IM est placée sur deux plages consécutives est illustré par la figure 4.12.

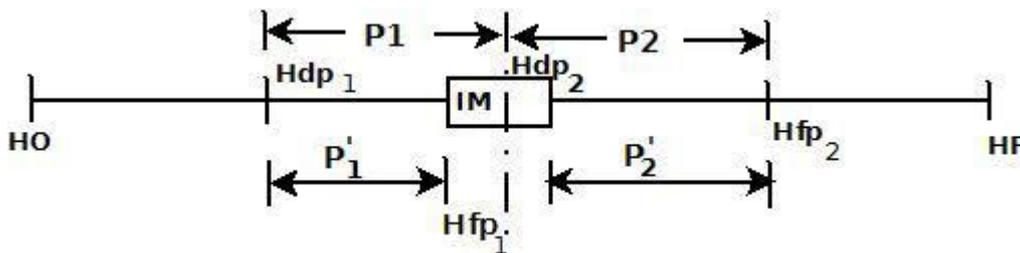


Figure 4.12 : l'IM placée sur deux plages horaires consécutives

Les plages sont allouées aux chirurgiens au préalable avant l'affectation des IC. Avec le placement de l'IM sur une ou deux plages (figures 4.9, 4.10, 4.11 et 4.12), il y aura modification des durées des plages. L'IM peut soit réduire la durée de la plage (figures. 4.9, et 4.10), soit diviser une plage P en deux P et P' (figure 4.11), dans ce cas les plages P et P' seront renumérotées et on va recalculer le nouveau nombre total de plages NP ainsi que la nouvelle durée des plages DP. Pour cela nous utilisons un tableau PIM qui indique la présence ou non de l'IM en fonction du jour j et de la salle s . Ainsi, la valeur 0 signale qu'il n'y a pas d'IM ce jour dans la salle s . La liste L donne pour chaque plage les indices : 1 jour, 2 salle et 3 chirurgien.

Algorithme de principe 4.15 - FF BSMF

Lecture des données
Calcul de DP et NP {Durée et nombre de plages}
{L'IM est placée au départ. DP et NP sont calculées à partir de la durée de l'IM placée}
DPD := DP {Durées restant disponibles des plages}
NICNP := NC {NC IC restant à placer}
Création de la table L
{L donne pour chaque plage les indices 1 jour, 2 salle et 3 chirurgien}
X := 0 {Aucune IC encore placée}
Pour c de 1 à NC {Pour chaque IC de la liste}
 Pour j de 1 à NJ {Pour chaque jour}
 Pour p de 1 à NP {Pour chaque plage}
 j := L(p,1) ; s:= L(p,2) ; chirP:= L(p,3)
 Si ChirIC(c) = ChirP **Alors**
 {Si chirurgien IC = chirurgien plage}
 Si DC(c) <= DPD(p) **Alors**
 {Si durée de l'IC <= durée disponible de la plage}
 NICNP := NICNP-1 {L'IC c est placée}
 X(c,p) := 1 {à la plage du chirurgien}
 DPD(p) := DPD(p) - DC(c) {Mise à jour de la durée disponible de la plage}
 p := NP {Pour sortir de la boucle en p}
 Fin si
 Fin Si
 Fin pour p
 Fin pour j
Fin pour c

4.3.2.2. Block Scheduling avec Maintenance Variable

L'algorithme de principe des heuristiques du cas Block Scheduling avec l'heure de début de maintenance variable est donné par l'algorithme 4.16 pour l'heuristique First Fit.

Pour faciliter la compréhension de l'algorithme 4.16, nous présentons les différentes positions que l'IM peut occuper sur une plage ou sur deux plages consécutives au plus dans les figures 4.13, 4.14 et 4.15.

Avec le placement de l'IM sur une ou deux plages (figures 4.9, 4.10, 4.13, 4.14 et 4.15), il y aura modification des durées des plages. L'IM peut soit réduire la durée de la plage (figures 4.9 et 4.10), soit diviser une plage P en deux P₁ et P₂ (figure 4.13), dans ce cas les plages P₁ et P₂ seront renumérotées et on va recalculer le nouveau nombre total de plages NP ainsi que la nouvelle durée des plages DP.

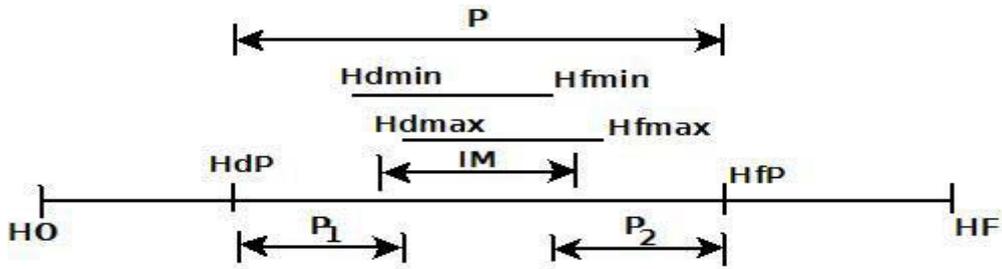


Figure 4.13 : IM divise la plage P en P₁ et P₂

La figure 4.14 peut se généraliser pour plusieurs plages consécutives encadrées par P₁ et P₂ et placées dans l'intervalle [Hdmax, Hfmin]. Ces plages sont supprimées mais P₁ et P₂ seront modifiées mais conservées.

L'IM placée sur deux plages P₁ et P₂ réduit leur durée respective (figures 4.14 et 4.15). Les heures de début minimum et maximum ainsi que l'heure de fin minimum de l'IM sont sur P'₁ et l'heure de fin maximum sur P'₂ (figure 4.15).

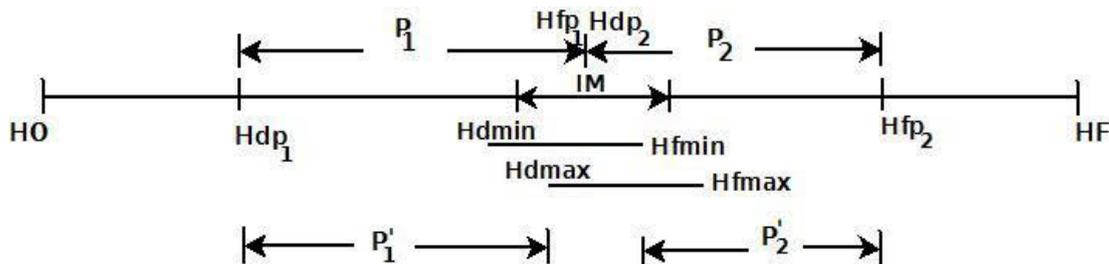


Figure 4.14 : IM planifiée sur 2 plages consécutives P₁ et P₂

Les contraintes de durée et de compatibilité entre l'IC et la plage doivent être vérifiées avec l'ajout d'une IC à une plage. Lorsqu'une IM est présente il faut vérifier aussi la condition suivante :

Durée IM + durée utilisée de la plage précédente P'₁ + et de la suivante P'₂ ≤ HfP'₂ - HdP'₁. HfP'₂ étant l'heure de fin de la plage suivante et HdP'₁ l'heure de début de la plage précédente.

Le cas symétrique peut se produire avec une petite plage P''₁ comme dans la figure 4.15. Ces plages sont des résidus de découpage qui compliquent la résolution sans apporter de flexibilité dans le placement d'IC car souvent trop courtes pour en recevoir une. Nous nous limiterons aux cas des figures 4.13 et 4.14 par translation des heures de début d'IM pour vérifier sur les plages modifiées : HdP'₁ ≤ Hdmin ≤ Hdmax = HfP'₁ ≤ HdP'₂ = Hfmin ≤ Hfmax ≤ HfP'₂.

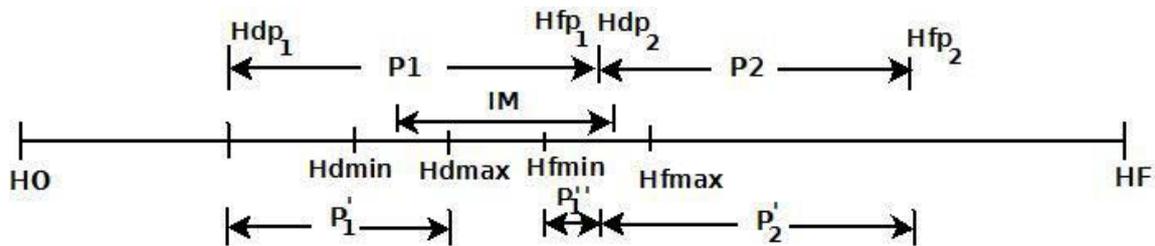


Figure 4.15 : IM avec Hfmin sur la 1^{ère} plage et Hfmax sur la 2^{ème}

Pour éviter ce genre de problème avec P''_1 , on va considérer que les heures de début de l'IM dans une plage et les heures de fin dans une autre plage. Entre P1 et P2, on peut avoir d'autres plages entièrement recouvertes par l'IM. Précisément entre $Hdmax$ et $Hfmin$, on peut avoir d'autres plages qu'on ne peut pas utiliser. Il faut alors les supprimer de la liste des plages.

Après avoir placé les IC, on calcule un intervalle dans lequel, on peut placer l'IM. Le service de maintenance fixera l'heure de début et l'heure de fin de l'IM dans cet intervalle.

Pour justifier cette modification des heures de début d'IM, rappelons qu'à l'origine il n'y avait pas de maintenance, nous avons introduit la maintenance à date et heure fixe puis une certaine flexibilité avec l'heure de début variable pour améliorer la solution obtenue en maintenance fixe. Pour comparer les solutions on choisit l'intervalle $[Hdmin, Hdmax]$ contenant l'heure de début fixée des IM.

L'Algorithme de principe 4.16 - First Fit BSMV est presque identique au précédent. Le calcul des durées restant des plages sera différent pour des cas spécifiques à ce modèle (figures 4.11 et 4.12). Les intervalles temporels sont des données vérifiées non conflictuelles.

Nous considérons une liste de plages L qui donne pour chaque plage les indices : 1 jour, 2 salle et 3 chirurgien.

Nous considérons également un tableau pour tenir compte de la présence ou non d'une IM. On cherchera à savoir la position de chaque plage par rapport à l'IM. Ainsi la position de la plage sera de 1 si la plage se trouve avant l'IM ou alors elle sera de 2 si la plage se trouve après l'IM.

Les plages sont triées dans l'ordre croissant par jour et par heure de début. Dans ce tableau la deuxième colonne donne le numéro de l'IM concernée NumIM(p). Si NumIM(p) est égal à 0, cela signifie que l'IM est absente.

Algorithme de principe 4.16 - FF BSMV

Lecture des données
Calcul de DP et NP {Durée et nombre de plages}
{DPD et NP sont calculées en fonction des heures Hdmax et Hfmin de l'IM à placer}
{Les IM divisent des plages, et des plages couvertes par une IM sont réduites ou supprimées}
DPD := DP {Durée restant disponible des plages}
Création de la table L
NICNP := NC {Nombre d'IC restant à placer}
Calcul de DC {Durée IC avec décontamination}
X := 0 {Aucune IC encore placée}
Pour c de 1 à NC {Pour chaque IC de la liste}
 Accepte :=Faux
 Pour p de 1 à NP {Pour chaque plage}
 j := L(p,1) ; s:= L(p,2) ; ChirP:= L(p,3)
 Si ChirIC(c) = ChirP **Alors**
 {Si chirurgien IC = chirurgien plage}
 Si DC(c) ≤ DPD(p) **Alors**
 {Si durée de l'IC ≤ durée disponible de la plage}
 Si NumIM (p)=0 **Alors** {Si l'IM est absente}
 Accepte :=vrai {Placer l'IC dans la plage}
 Sinon
 Si Pos(p)=1 **Alors** {Si la plage est avant l'IM}
 Si DC(c) + DP(p) + DP(p+1)+DM(NumIM(p)) ≤ Hfp(p+1) – Hdp(p) **Alors**
 {Si somme des durées des plages p et p+1 plus
 durée IM m ≤ Hfin (p+1) - Hdeb (p)}
 Accepte :=vrai {Placer l'IC dans la plage}
 Fin Si
 Sinon
 {Pos(p)=2, la plage est après l'IM}
 Si DC(c) + DP(p-1) + DP(p) + DM(NumIM(p)) ≤ Hfp(p) – Hdp(p-1) **Alors**
 {Si somme des durées des plages p-1 et p plus
 durée IM m ≤ Hfin (p) - Hdeb (p-1)}
 Accepte :=vrai {Placer l'IC dans la plage}
 Fin Si
 Fin Si
 Fin Si
 Fin Si
 Fin Si
 Si Accepte **Alors**
 NICNP := NICNP-1 {L'IC c est placée}
 X(c,p) := 1 {à la plage du chirurgien}
 DPD(p):= DPD(p) - DC(c) {Mise à jour de la durée disponible}
 p :=NP {Pour sortir de la boucle de p}
 Fin si
Fin pour p
Fin pour c

4.4. Système de voisinage

Le système de voisinage permet de passer d'une séquence Y à une séquence voisine Y' . Nous utilisons une séquence Y des IC qui est une liste de numéros d'IC. Y représente une séquence.

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_{NC})$$

Différents systèmes de voisinage V peuvent être utilisés. Pour une séquence, on peut construire un voisin en :

- tirant aléatoirement deux composantes de la séquence initiale de Y et les permuter,
- tirant aléatoirement une composante la séquence initiale de Y et la placer à la fin de l'ordonnancement,
- tirant aléatoirement une composante de la séquence initiale de Y et la permuter avec la suivante ou la première si on tire la dernière.

$V(Y)$ est l'ensemble des séquences voisines de Y obtenu par une des trois méthodes citées. La mise en œuvre de notre système de voisinage est présentée par l'algorithme 4.17.

Algorithme 4.17 : Mise en œuvre du système de voisinage

Données: Y {Séquence d'IC ou liste initiale d'IC}

$X := L(Y)$

{Solution initiale admissible générée par l'algorithme de placement L en respectant les contraintes de placement}

Choisir aléatoirement et uniformément Y' dans $V(Y)$

{ Y' est obtenu en permutant 2 IC de Y ou en déplaçant une IC en fin de séquence puis la solution X' est obtenue par l'exécution de L sur Y' en respectant les contraintes}

$X' := L(Y')$

L'étude se poursuit avec Y ou Y' avec les valeurs de $H(X)$ et $H(X')$

4.5. Métaheuristiques

Ce couplage est appliqué avec plusieurs métaheuristiques : la descente stochastique, le recuit simulé et l'algorithme du kangourou.

Une liste d'interventions enregistrées a constitué la séquence initiale Y . La métaheuristique effectue une permutation de deux interventions chirurgicales choisies aléatoirement. Le critère de cette nouvelle séquence est évalué par l'heuristique FF . La métaheuristique prend ensuite le relais pour minimiser le critère du nombre d'interventions non placées.

4.6. Couplage métaheuristiques - heuristique FF

Pour optimiser un critère, on va utiliser le couplage d'une métaheuristique et d'un algorithme de placement. Les méthodes présentées dans cette partie utilisent une hybridation entre une métaheuristique et un algorithme de placement, l'heuristique FF par exemple. Parmi les couplages présentés dans ce chapitre, notre proposition correspond à un couplage avec approche hiérarchique.

Nous avons couplé FF , l'heuristique la mieux adaptée au problème étudié, avec chacune des métaheuristiques basées individu présentées plus haut dans ce chapitre, qui sont : la descente stochastique, le recuit simulé et l'algorithme du kangourou. L'application du couplage des métaheuristiques basées individu et des heuristiques a été présentée dans (Gourgand et al., 2014a, 2014b).

4.6.1 Couplage descente stochastique - heuristique FF

Dans le cas de la descente stochastique, le critère d'arrêt est : nombre maximum d'itérations atteint ou $H(X)$ inférieur à une valeur donnée par l'utilisateur ou $H(X)$ égal à la solution optimale connue ou à une borne inférieure. Cet algorithme converge généralement vers un optimum local, mais cette convergence n'est pas prouvée. Le couplage Descente stochastique - FF est présenté par l'algorithme 4.18.

Algorithme 4.18: Descente stochastique - heuristique FF

Données : solution initiale $Y \in \Omega'$ (Y est la séquence d'IC ou la liste initiale des IC)

$X := FF(Y)$: l'heuristique FF est appliquée à la liste initiale Y des IC

Tant que critère d'arrêt non atteint **faire**

 Choisir aléatoirement et uniformément Y' dans le voisinage de $V(Y)$

$X' := FF(Y')$

Si $H(X') \leq H(X)$ **Alors**

$Y := Y'$

 { Y devient la liste courante}

$X := X'$

Fin si

Fin tant que

4.6.2. Couplage recuit simulé - heuristique FF

L'algorithme du recuit simulé couplé avec l'heuristique FF est décrit par l'algorithme 20. La détermination de la température initiale T_0 et du facteur de décroissance α . Les deux paramètres sont présentés en annexe. L'algorithme du couplage recuit simulé - heuristique FF est présenté par l'algorithme.

Algorithme 4.19: Algorithme du recuit simulé – heuristique FF

Données : Température T_0 , nombre maximal d'itérations $IterMax$, facteur de décroissance α , la séquence d'IC ou liste initiale d'IC $Y \in \Omega'$

$iter := 0$

$T := T_0$

$RY := Y$

$X := FF(Y)$: l'heuristique FF est appliquée à la liste initiale Y des IC

$RX := X$ {Solution record}

Tant que $iter < IterMax$ **faire**

Choisir aléatoirement et uniformément Y' dans le voisinage de $V(Y)$

$X' := FF(Y')$ { X' est dans le voisinage de $V(X)$ }

Si $H(X') < H(RX)$ **Alors**

$RY := Y'$

$RX := X'$ {Mise à jour solution record}

Fin si

Si $H(X') \leq H(X)$ **Alors**

$Y := Y'$ { Y devient la liste courante}

$X := X'$

Sinon

Si $RND \leq \exp\left(-\frac{H(X') - H(X)}{T}\right)$ **Alors**

$Y := Y'$ { Y devient la liste courante}

$X := X'$

Fin si

$iter := iter + 1$

Générer une nouvelle température $T := \alpha * T$

Fin si

Fin tant que

4.6.3. Couplage du kangourou - heuristique FF

Le système de voisinage W consiste en l'application un certain nombre de fois du système de voisinage V utilisé, il respecte la propriété d'accessibilité. Le couplage Algorithme du kangourou- heuristique FF est présenté par l'algorithme 4.20. Le paramètre A qui est le palier est donné en annexe.

Algorithme 4.20: Algorithme du kangourou - heuristique FF

Données : A : nombre d'itérations sans amélioration avant un saut, nombre maximal d'itérations $IterMax$, la séquence d'IC ou liste initiale d'IC $Y \in \Omega'$

$c := 0$

$iter := 0$

$X := FF(Y)$: l'heuristique FF est appliquée à la liste initiale Y des IC

$RY := Y, RX := X$ {Solution record}

Tant que $iter < IterMax$ **faire**

Si $c < A$ **Alors**

 Choisir aléatoirement et uniformément Y' dans le voisinage de $V(Y)$

$X' := FF(Y')$

Si $H(X') \leq H(X)$ **Alors**

Si $H(X') < H(X)$ **Alors**

$c := 0$

Si $H(X') \leq H(RX)$ **Alors**

$RY := Y'$

$RX := X'$ {Mise à jour solution record}

Fin si

Fin si

$Y := Y'$ { Y devient liste courante}

$X := X'$

Fin si

Sinon {On effectue un saut}

 Choisir aléatoirement et uniformément Y' dans $W(X)$

$X' := L(Y')$

Si $H(X') \neq H(X)$ **Alors**

Si $H(X') < H(RX)$ **Alors**

$RY := Y'$

$RX := X'$ {Mise à jour solution record}

Fin si

$c := 0$

Fin si

$Y := Y'$ { Y devient liste courante}

$X := X'$

Fin si

$c := c + 1$

Fin tant que

4.7. Récapitulatif des algorithmes

Le tableau 4.5 présente la liste des heuristiques de placement utilisées dans la résolution du problème de la planification opératoire et des couplages métaheuristiques – heuristique *FF*.

Algorithme	Sigle	Signification
4.9	FF OSMF	First Fit Open Scheduling avec maintenance fixe
4.11	BF OSMF	Best Fit Open Scheduling avec maintenance fixe
4.13	NF OSMF	Next Fit Open Scheduling avec maintenance fixe
4.14	FF OSMV	First Fit Open Scheduling avec maintenance variable
4.15	FF BSMF	First Fit Block Scheduling avec maintenance fixe
4.16	FF BSMV	First Fit Block Scheduling avec maintenance variable
4.19	DS - FF	Couplage descente stochastique – heuristique <i>FF</i>
4.20	RS - FF	Couplage recuit simulé – heuristique <i>FF</i>
4.21	KA - FF	Couplage kangourou – heuristique <i>FF</i>

Tableau 4.5 : Récapitulatif des algorithmes de placement et des couplages

Conclusion

Les méthodes utilisées pour résoudre le problème de planification opératoire ont été présentées dans ce chapitre. Nous avons mis l'accent sur les méthodes approchées utilisées. Les heuristiques du bin packing, les métaheuristiques basées individu, et les techniques d'hybridation couplant les heuristiques et les métaheuristiques ont été exposées. Nous nous sommes inspirés de la résolution des problèmes d'ordonnancement, pour appliquer le couplage entre une métaheuristique et une heuristique. Ce chapitre représente également la fin de l'étape 2 de la méthodologie ASCI, relative à la construction du modèle d'action.

Chapitre 5

Mise en œuvre des méthodes proposées et résultats

Introduction.....	110
1. Open Scheduling OS.....	111
1.1. Présentation des instances.....	111
1.2. Résultats obtenus.....	115
1.2.1. Maintenance fixée.....	115
1.2.1.1. PLNE.....	116
1.2.1. 2. Heuristiques	120
1.2.1.3. Couplage FF OSMF - Métaheuristiques.....	127
1.2.2. Maintenance variable.....	128
1.2.2.1. PLNE.....	130
1.2.2.2. Heuristiques FF OSMV	130
1.2.2.3. Couplage Métaheuristiques - FF OSMV	131
1.3. Comparaison entre les deux maintenances MF et MV pour OS.....	132
2. Block Scheduling BS.....	134
2.1. Présentation des instances.....	135
2.2. Résultats obtenus.....	140
2.2.1. Maintenance fixée.....	140
2.2.1.1. PLNE.....	140
2.2.1.2. Heuristique FF BSMF.....	141
2.2.1.3. Couplage Métaheuristiques - FF BSMF.....	141
2.2.2. Maintenance variable.....	142
2.2.2.1. PLNE.....	143
2.2.2.2. Couplage de FF avec l’algorithme du kangourou KA.....	143
2.3. Comparaison entre les deux maintenances MF et MV pour BS.....	143
3. Comparaison entre les deux stratégies OS et BS.....	147
Conclusion.....	152

Introduction

Dans ce chapitre, nous résolvons les modèles mathématiques du chapitre 3 et appliquons les méthodes proposées dans le chapitre précédent aux instances générées afin d'évaluer nos propositions. Ces instances sont dans un premier temps résolues par un solveur. Les résultats du critère *NICNP* qui correspond au nombre d'IC non placées, obtenus sont considérés comme référence pour la suite.

Pour les différents calculs effectués en programmation linéaire dans ce manuscrit, pour les cas Open Scheduling et Block Scheduling, en maintenance fixée et en maintenance variable, nous avons fixé la valeur du temps limite maximum de recherche à 10 000 secondes.

Les heuristiques et les différents algorithmes décrits dans ce mémoire ont été codés en Fortran 90. Les tests ont été réalisés sur deux machines dont les caractéristiques sont :

- Pentium HP, avec 4,00 Go de RAM, un système d'exploitation de 64 bits et un processeur Intel Core 2 Quad CPU Q8300 à 2.50 Ghz,
- Pentium(R), avec 4 Go de RAM, un système d'exploitation de 32 bits et un processeur Intel(R) CPU B950 @ 2,10 Ghz.

La section 1 est consacrée à la programmation ouverte ou Open Scheduling. Nous y présentons les instances utilisées pour ladite stratégie de programmation. Les résultats de la programmation linéaire et de nos méthodes de résolution du problème de la planification opératoire dans le cas de la stratégie Open Scheduling en considérant l'heure de début de l'IM au départ fixée et ensuite variable sont présentés. Les différentes instances utilisées sont dans un premier temps résolues par un solveur. Les algorithmes que nous proposons dans le chapitre précédent sont ensuite appliqués aux mêmes instances. Ensuite nous comparons les résultats obtenus en OS dans le cas où l'heure de début de maintenance est fixée d'une part et dans le cas où l'heure de début de maintenance est variable d'autre part.

La section 2 s'intéresse au cas Block Scheduling. Les données des IC et des IM utilisées ici sont les mêmes qu'en programmation ouverte. Les ressources du bloc opératoire cible sont présentés. Les données des plages horaires des chirurgiens sont présentées. Les résultats de la programmation linéaire et de nos méthodes à la résolution du problème de la planification opératoire dans le cas de la stratégie Block Scheduling sont également présentés en considérant l'heure de début de l'IM fixée au départ et variable ensuite. La démarche de résolution est la même que celle appliquée plus haut pour le cas Open Scheduling. Ensuite les résultats du couplage heuristique FF et algorithme du kangourou sont en maintenance variable sont montrés. Ensuite, nous comparons les résultats obtenus en BS dans le cas où l'heure de début de maintenance est fixée d'une part et dans le cas où l'heure de début de maintenance est variable d'autre part. Pour comparer les deux cas, les heures de début au plus tôt et au plus tard encadrent l'heure de début de la maintenance fixe.

Dans la section 3, nous comparons les deux stratégies Open Scheduling et Block Scheduling.

Il faut rappeler que l'objectif principal recherché dans ce travail était de minimiser le nombre d'IC non placées *NICNP* dans des salles. Uniquement pour le cas Open Scheduling, nous avons calculé *DUS* qui est la durée d'utilisation du bloc opératoire, le taux d'utilisation du bloc opératoire et les deux critères multiples *C1* (avec le nombre d'IC placées comme sous critère prioritaire), *C2* (avec *DUS* prioritaire) pour donner au gestionnaire la possibilité de faire le choix des critères dans sa prise de décision en fonction de ses priorités.

1. Open Scheduling OS

Comme déjà défini précédemment, nous rappelons que dans cette stratégie de programmation opératoire, toutes les salles sont polyvalentes, et peuvent donc recevoir tout type d'intervention. Les spécialités des salles ne sont pas prises en considération.

Afin de tester l'efficacité des méthodes proposées, trois instances ont été générées et testées. Nous n'avons pas pu obtenir les jeux de données réels car les durées des interventions chirurgicales des patients sont rarement enregistrées dans le bloc opératoire. Cependant, les instances générées représentent la réalité hospitalière. Sept spécialités au total ont été retenues. Dans chacune des spécialités, l'on retrouve différents types d'interventions chirurgicales. Pour l'expérimentation, trente types d'interventions chirurgicales au total ont été comptabilisés.

Concernant les interventions de maintenance préventive, après des échanges avec les techniciens de maintenance du BO de l'HLD, nous avons généré les instances des IM. Dans le service de maintenance, les instances réelles n'existent pas. Compte tenu de la fréquence des pannes sur certains équipements, sur la base des déclarations des techniciens, nous avons estimé que 15 interventions de maintenance préventive au total pouvaient être prévues par semaine. Ce qui donne une moyenne de trois interventions par jour dans trois salles, avec une intervention au plus par salle par jour.

1.1. Présentation des instances

Pour tester nos méthodes, nous avons travaillé avec trois instances différentes. La première instance compte 80 IC, les deux autres ont chacune 100 IC pour 4 salles. La durée d'ouverture du BO sur la semaine est de 9600 minutes. La somme des durées des 15 IM prévues par semaine est de 940 minutes. Lesdites IM réduisent la durée d'ouverture du BO et la ramènent à 8660 minutes par semaine. L'horizon de planification est la semaine.

Les différentes instances sont caractérisées par la somme des durées de leurs IC à placer. La somme des durées des IC à placer de la première instance est de 8490 minutes, celle de la deuxième instance est de 8800 minutes et celle de la troisième instance est égale à 8720 minutes après le placement des 15 IM prévues pour la semaine.

Une IM dans le cas de la maintenance fixée est placée dans la salle d'opération avant l'affectation des IC, soit à l'heure d'ouverture ou à l'heure de fermeture (dans l'un des cas

l'IM réduit uniquement la durée d'ouverture), soit en milieu de journée (dans ce dernier cas l'IM réduit et divise la durée d'ouverture en deux périodes pour le cas Open Scheduling).

Le tableau 5.1 présente les données des 80 IC de la première instance. La colonne NumIC indique le numéro de l'IC, la durée en minutes est indiquée par la colonne durée. Les tableaux 5.2 et 5.3 présentent les données des 100 IC de la deuxième et de la troisième instance. Dans ces deux tableaux, les mêmes informations indiquées dans les colonnes correspondent à celles du tableau 5.1.

Les données des IM sont présentées dans les différentes sous sections traitant respectivement le cas de la maintenance fixée et celui de la maintenance variable.

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

Tableau 5.1. Les données des IC de la première instance pour OS

NumIC	Durée	NumIC	Durée	NumIC	Durée	NumIC	Durée
1	90	26	45	51	112	76	110
2	112	27	110	52	70	77	112
3	110	28	70	53	115	78	50
4	45	29	90	54	90	79	75
5	112	30	70	55	95	80	110
6	70	31	90	56	50	81	135
7	115	32	75	57	50	82	70
8	50	33	70	58	115	83	75
9	70	34	75	59	70	84	75
10	110	35	90	60	70	85	95
11	110	36	50	61	115	86	175
12	45	37	70	62	95	87	75
13	115	38	70	63	110	88	60
14	110	39	115	64	110	89	95
15	70	40	110	65	110	90	110
16	90	41	80	66	80	91	175
17	100	42	75	67	110	92	110
18	70	43	70	68	112	93	95
19	70	44	90	69	90	94	110
20	50	45	45	70	70	95	95
21	70	46	80	71	90	96	75
22	115	47	115	72	70	97	75
23	110	48	110	73	100	98	90
24	65	49	70	74	115	99	70
25	50	50	50	75	70	100	90

Tableau 5.2. Les données des IC de la deuxième instance pour OS

NumIC	Durée	NumIC	Durée	NumIC	Durée	NumIC	Durée
1	75	26	45	51	112	76	110
2	112	27	110	52	65	77	112
3	110	28	70	53	115	78	50
4	45	29	75	54	75	79	75
5	112	30	70	55	95	80	110
6	70	31	90	56	50	81	135
7	115	32	75	57	50	82	70
8	50	33	70	58	115	83	75
9	70	34	75	59	70	84	75
10	110	35	75	60	70	85	95
11	110	36	50	61	115	86	175
12	45	37	70	62	95	87	75
13	115	38	70	63	110	88	60
14	110	39	115	64	110	89	95
15	65	40	110	65	110	90	110
16	90	41	80	66	80	91	175
17	100	42	75	67	110	92	110
18	70	43	70	68	112	93	95
19	70	44	90	69	75	94	110
20	50	45	45	70	70	95	95
21	70	46	80	71	90	96	75
22	115	47	115	72	70	97	75
23	110	48	110	73	100	98	90
24	65	49	70	74	115	99	65
25	50	50	50	75	70	100	90

Tableau 5.3. Les données des IC de la troisième instance pour OS

1.2. Les résultats de la PLNE et des métaheuristiques

Nous utilisons en programmation linéaire l'outil Glpk. Pour plus d'informations sur cet outil, nous donnons quelques indications repris par (Trilling, 2006) dans ses travaux de thèse.

Glpk (2013) est distribué sous GNU GPL (General public License). Glpk fonctionne avec l'interface utilisateur Gusek qui possède des paramètres préprogrammés pour la PLNE. C'est un ensemble de routines écrites en C et organisées sous forme d'une bibliothèque, permettant de résoudre des problèmes de programmation linéaire, à variables continues, mixtes ou entières. Glpk est également livré avec un solveur autonome glpsol, capable de traiter des problèmes modélisés dans différents langages, dont le langage GNU MathProg, qui est un sous-ensemble du langage AMPL.

En fonction des paramètres de résolution utilisés, on obtient plus ou moins rapidement une solution de plus ou moins bonne qualité. Une solution optimale en nombre réel est d'abord déterminée grâce à une méthode de Simplex améliorée, c'est-à-dire un Simplex couplé à des méthodes qui permettent d'éviter les cycles dans la recherche des solutions. Puis une solution entière est recherchée à l'aide d'une méthode de type branch and bound et des coupes.

Le critère optimum recherché peut être obtenu rapidement, dans ce cas la valeur est affichée, sinon la recherche se poursuit et à chaque amélioration on obtient un intervalle [borne inférieure ; meilleure valeur obtenue] du critère à minimiser (tableau 5.5). Pour limiter le temps de recherche du critère, on utilise le paramètre « --tmlim » durée limite en secondes. Ce paramètre est nécessaire pour arrêter la recherche et afficher les résultats. Comme évoqué à l'introduction de ce chapitre, le temps limite de recherche de la valeur du critère est fixé à 10000 secondes.

La colonne CPU indique la durée d'exécution du programme en secondes, nécessaire pour obtenir la valeur optimale du critère ou un intervalle la contenant. L'optimum a été trouvé dans certains cas. Mais la plupart du temps la solution obtenue après quelques secondes de recherche ne s'améliore pas, même jusqu'à l'atteinte de la valeur du temps limite de recherche fixée au départ. Dans ce dernier cas la solution se présente sous la forme d'un intervalle.

1.2.1. Maintenance Fixée MF

Comme nous l'avons déjà évoqué au chapitre 3, nous rappelons que l'heure de début de la maintenance préventive est ici imposée et doit être respectée. Le placement de l'IM précède l'affectation des IC dans la salle. Une IM prévue dans un horizon de planification sera planifiée un jour de cet horizon.

Les données des IM

Le tableau 5.4 présente les données des IM. La colonne NumIM indique le numéro de l'IM, les heures de début et de fin de l'IM en minutes sont données par les colonnes Hdeb et Hfin. La salle où l'IM est prévue et le jour d'intervention sont précisés.

NumIM	Hdeb	Hfin	Salle	Jour
1	0	45	1	1
2	180	240	2	1
3	450	480	3	1
4	0	60	2	2
5	240	300	4	2
6	0	30	3	2
7	150	390	4	3
8	90	140	1	3
9	0	30	3	3
10	429	474	1	4
11	0	60	2	4
12	420	480	4	4
13	120	180	2	5
14	0	60	3	5
15	300	350	4	5

Tableau 5.4. Les données des IM pour OS

1.2.1.1. PLNE

Nous avons sur un maximum de 5 jours, 80 IC, 100 IC et 100 IC respectivement pour la 1^{ère}, la 2^{ème} et la 3^{ème} instance à affecter dans les salles. On teste également les outils avec un horizon plus court de 4 à 1 jour. On essaye de placer les 80 IC sur 4 jours, puis sur 3 jours, ensuite sur 2 jours et enfin sur 1 jour pour voir comment réagissent les outils.

Exemple : si on essaye de placer les 80 IC de la 1^{ère} instance sur un horizon de 3 jours, 43 IC ne seront pas placées. Seulement 37 IC seront placées (tableau 5.5). Nous minimisons ainsi *NICNP* et nous calculons la durée d'utilisation du bloc, *DUS* en minutes sans la minimiser ou la maximiser.

Pour la détermination du critère *NICNP* dans le tableau 5.5, la PLNE affiche les solutions optimales pour les horizons de 1 à 4 de la 1^{ère} instance, 1 et 3 pour les instances 2 et 3. Pour tous les autres horizons, Glpk et son interface utilisateur Gusek ne parvient pas à obtenir des solutions optimales et propose un intervalle devant contenir la valeur du critère minimisé. Le critère *NICP* qui correspond au nombre maximum d'IC placées est aussi donné dans le tableau 5.5. *NICP* est utilisé dans les traitements par la suite.

Horizon	1 ^{ère} Instance			2 ^{ème} Instance			3 ^{ème} Instance		
	CPU	NICNP	NICP	CPU	NICNP	NICP	CPU	NICNP	NICP
1	1,042	67	13	0,311	79	21	0,474	79	21
2	0,346	54	26	60	[60 ; 61]	[39; 40]	60	[60 ; 61]	[39; 40]
3	0,442	43	37	134,5	46	54	8,188	45	55
4	1,354	30	50	3360	[31 ; 32]	[68;69]	180	[31 ; 32]	[68;69]
5	240	[15 ; 17]	[63;65]	1080	[18 ; 19]	[81;82]	180	[18 ; 19]	[81;82]

Tableau 5.5. Minimisation de *NICNP* en OSMF des 3 instances par la PLNE

Dans le tableau 5.6, nous avons maximisé *DUS*, qui correspond à la durée d'utilisation des salles par les IC, la décontamination incluse. On maximise *DUS* pour satisfaire le gestionnaire du bloc opératoire, en cherchant à utiliser les ressources au maximum.

La colonne de *DUS* donne l'intervalle ou la valeur du critère en minutes. La colonne CPU indique en secondes le temps de recherche de la meilleure valeur du critère. Glpk et son interface utilisateur Gusek donne uniquement une solution optimale pour *DUS* à l'horizon 1 de la 2^{ème} instance. Pour tous les autres horizons des trois instances, Glpk et son interface utilisateur Gusek ne parvient pas à obtenir des solutions optimales et propose un intervalle devant contenir la valeur du critère maximisé. La première composante est la meilleure valeur trouvée pour le critère par la PLNE. La borne supérieure est un majorant et non une limite supérieure que l'on peut atteindre.

Horizon	1 ^{ère} Instance		2 ^{ème} Instance		3 ^{ème} Instance	
	CPU	DUS	CPU	DUS	CPU	DUS
1	120	[1705 ; 1715]	10,11	1785	60	[1782 ; 1785]
2	60	[3380 ; 3425]	60	[3541 ; 3555]	240	[3546 ; 3555]
3	180	[4625 ; 4850]	360	[5161 ; 5180]	1080	[5182 ; 5185]
4	1320	[6360 ; 6565]	2220	[6865 ; 6929]	1440	[6903 ; 6934]
5	1080	[7860 ; 8175]	120	[8594 ; 8674]	240	[8608 ; 8679]

Tableau 5.6. Maximisation de *DUS* en OSMF des 3 instances par la PLNE

Le critère $C1 = NICP * 100\ 000 + DUS$, composé de deux sous critères *NICP* (nombre d'IC placées) et *DUS* en minutes a été optimisé. *NICP* est le sous critère prioritaire par rapport à *DUS*. La priorité est ainsi accordée au placement des IC dans des salles et ensuite à la durée d'utilisation des salles par les IC. Nous avons maximisé *C1* à l'aide de Glpk et son interface utilisateur Gusek. Le tableau 5.7 présente les intervalles contenant les solutions optimales. La borne inférieure de l'intervalle correspond à la meilleure valeur du critère trouvé. La borne supérieure est un majorant du maximum.

Nous avons également maximisé le critère $C2 = DUS * 1000 + NICP$, avec *DUS* comme le sous critère prioritaire par rapport à *NICP*. La priorité revient à la durée d'utilisation des salles, qui doit être plus importante. Le placement d'un grand nombre d'IC dans les salles est le critère minoritaire.

Dans le tableau 5.7 du critère *C1*, les deux premiers chiffres à gauche de la première composante de l'intervalle correspondent au nombre d'IC placées et les quatre derniers à droite correspondent à la durée d'utilisation des salles pendant l'horizon correspondant.

Dans le tableau 5.8 du critère *C2* les résultats de la maximisation de *C2* sont présentés. Les quatre premiers chiffres à gauche de la première composante de l'intervalle correspondent à la durée d'utilisation des salles pendant l'horizon correspondant. Les deux derniers chiffres à droite correspondent au nombre d'IC placées.

On constate que pour *C1* et *C2*, pour chaque instance, le nombre d'IC placées est croissant. Dans le premier cas, la priorité est sur *NICP* et dans le second cas elle est sur *DUS*. Pour la même instance, il n'est pas anormal d'avoir le nombre d'IC différent. La deuxième composante de l'intervalle n'est qu'un majorant parce qu'on maximise.

Horizon	1 ^{ère} Instance		2 ^{ème} Instance		3 ^{ème} Instance	
	CPU	C1	CPU	C1	CPU	C1
1	480	[1301705 ; 1401685]	60	[2101785 ; 2170206]	60	[2101785 ; 2185995]
2	60	[2603290 ; 2703375]	300	[3903550 ; 4008555]	180	[4003555 ; 4023555]
3	60	[3704705 ; 3854740]	180	[5405155 ; 5500832]	780	[5505160 ; 5583445]
4	60	[5006380 ; 5106440]	8502	[6706802 ; 6917299]	1740	[6906825 ; 6994134]
5	4080	[6107975 ; 6535250]	7262	[8008555 ; 8219044]	3180	[8108560 ; 8289419]

Tableau 5.7. Maximisation de C1 en OSMF des 3 instances par la PLNE

Horizon	1 ^{ère} Instance		2 ^{ème} Instance		3 ^{ème} Instance	
	CPU	C2	CPU	C2	CPU	C2
1	3782	[1705013 ; 1725012]	17,07	1785021	240	[1780021 ; 1785021]
2	120	[3380026 ; 3425578]	3481	[3555038 ; 3555040]	60	[3555039 ; 3555040]
3	5081	[4680036 ; 4848778]	2639	[5165053 ; 5180054]	300	[5165054 ; 5185055]
4	9995	[6355049 ; 6610053]	4021	[6845066 ; 6929069]	8106	[6865066 ; 6934069]
5	4749	[7910062 ; 8364447]	5461	[8567080 ; 8674082]	420	[8565081 ; 8679082]

Tableau 5.8. Maximisation de C2 en OSMF des 3 instances par la PLNE

1.2.1.2. Heuristiques

Le planning opératoire est construit dans le placement des IC dans les périodes en Open Scheduling. L'objectif recherché étant de minimiser le nombre *NICNP* d'interventions non placées, nous utilisons les différentes heuristiques, First Fit *FF*, First Fit Decreasing *FFD*, First Fit Increasing *FFI*, Next Fit *NF*, Next Fit Decreasing *NFD*, Next Fit Increasing *NFI*, Best Fit *BF*, Best Fit Decreasing *BFD* et Best Fit Increasing *BFI* pour le déterminer avec les données des trois instances, afin de l'optimiser par la suite par les métaheuristiques. Les valeurs obtenues pour *NICNP* avec les heuristiques citées plus haut sont présentées par les tableaux 5.9, 5.10 et 5.11. Chaque tableau présente les résultats d'une instance.

Horizon	NICNP								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	69	69	67	69	69	67	69	69	67
2	57	58	54	58	59	54	56	58	54
3	48	49	43	49	50	43	47	48	43
4	36	37	34	37	41	34	35	37	34
5	24	25	25	26	30	25	24	24	23

Tableau 5.9. Critère *NICNP* de la 1^{ère} instance des 9 heuristiques

Horizon	NICNP								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	85	89	79	86	90	79	86	89	80
2	69	77	63	71	79	63	71	76	64
3	54	63	51	58	70	51	56	63	52
4	40	50	38	43	57	38	40	50	36
5	26	34	28	30	44	28	26	36	27

Tableau 5.10. Critère *NICNP* de la 2^{ème} instance des 9 heuristiques

Horizon	NICNP								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	85	89	79	86	90	79	85	89	80
2	69	77	63	71	79	63	70	76	64
3	54	63	51	58	70	51	54	63	52
4	40	50	38	43	57	38	40	50	36
5	26	34	28	30	42	28	25	35	25

Tableau 5.11. Critère *NICNP* de la 3^{ème} instance des 9 heuristiques

Les heuristiques *FFI* identiques à *NFI* présentent de meilleures valeurs ainsi que *BFI* dans les tableaux 5.9, 5.10 et 5.11. Le tri des IC en ordre croissant de la durée favorise le placement d'un grand nombre d'IC en commençant par les plus courtes et réduit donc le critère *NICNP* pour les heuristiques « Increasing ».

Pour améliorer le critère *NICNP* avec les métaheuristiques utilisées, descente stochastique *DS*, recuit simulé *RS* et algorithme du kangourou *KA*, on a préféré l'heuristique *FF*. Cette heuristique ne trie pas les ordonnancements, donc quand on génère un ordonnancement, il n'est pas modifié. Il est question de pouvoir atteindre tous les ordonnancements initiaux possibles, donc toutes les solutions. Comme on utilise le couplage avec les métaheuristiques, on effectue un grand nombre d'itérations sur l'heuristique. Si l'heuristique utilise un ou plusieurs tris, le traitement devient très coûteux en temps d'exécution. Les heuristiques « Increasing » sont à l'origine de plusieurs modifications d'ordonnements lors du tri, avec le risque de rester avec le même ordonnancement.

Dans les tableaux 5.12, 5.13 et 5.14, nous avons calculé *DUS* qui correspond à la durée d'utilisation des salles à l'aide des 9 heuristiques. Ces valeurs obtenues sont inférieures aux meilleures valeurs de *DUS* obtenues avec Glpk et son interface utilisateur Gusek (cf. Tab 5.6).

Horizon	DUS								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1445	1595	1495	1445	1595	1495	1445	1595	1495
2	2975	3160	2990	2860	3045	2990	3150	3160	2990
3	4190	4465	4255	4045	4350	4255	4335	4580	4255
4	5720	6115	5560	5575	5655	5560	5835	6115	5560
5	7280	7615	6865	7020	7040	6865	7280	7730	7155

Tableau 5.12. Critère DUS de la 1^{ère} instance fourni par les heuristiques

Horizon	DUS								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1684	1640	1720	1614	1540	1720	1614	1630	160
2	3334	3250	3250	3164	3045	3250	3164	3325	3150
3	4844	4860	4495	4529	4260	4495	4738	4855	4380
4	6446	6485	6010	6116	5885	6010	6446	6530	6250
5	8068	8165	7310	7698	7350	7310	8108	8085	7445

Tableau 5.13. Critère DUS de la 2^{ème} instance fourni par les heuristiques

Horizon	DUS								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1669	1640	1705	1599	1540	1705	1689	1630	1610
2	3299	3250	3235	3129	3045	3235	3224	3325	3135
3	4809	4865	4435	4479	4260	4435	4834	4855	4335
4	6376	6490	5920	6046	5885	5920	6376	6530	6160
5	7983	8165	7220	7613	7475	7220	8163	8085	7625

Tableau 5.14. Critère DUS de la 3^{ème} instance fourni par les heuristiques

Nous avons aussi par la suite calculé le taux d'utilisation du bloc opératoire par les IC par jour d'ouverture du bloc. C'est le produit du rapport entre la durée d'utilisation du BO par IC et la durée utile du bloc multiplié par 100. Les tableaux 5.15, 5.16 et 5.17 présentent les résultats obtenus des différents taux d'utilisation.

Horizon	Taux d'utilisation du BO								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	80,95	89,35	83,75	80,95	89,35	83,75	80,95	89,35	83,75
2	83,68	88,88	84,10	80,45	85,65	84,10	88,60	88,88	84,10
3	80,81	86,11	82,06	78,01	83,89	82,06	83,28	87,99	81,74
4	82,42	88,11	80,11	80,33	81,48	80,11	84,07	88,11	80,11
5	83,77	87,62	78,99	80,78	81,01	78,99	83,77	88,95	82,33

Tableau 5.15. Critère taux d'utilisation des salles des 9 heuristiques de la 1^{ère} instance

Horizon	Taux d'utilisation du BO								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	94,34	91,87	96,35	90,42	86,27	96,35	90,42	91,31	91,03
2	93,78	91,42	91,42	89	85,65	91,42	89	93,53	88,6
3	93,42	93,73	86,69	87,34	82,16	86,69	91,39	93,63	84,47
4	92,88	93,44	86,59	88,12	84,79	86,59	92,88	94,09	90,05
5	92,84	93,95	84,11	88,58	84,57	84,11	93,3	93,03	85,67

Tableau 5.16. Critère taux d'utilisation des salles des 9 heuristiques de la 2^{ème} instance

Horizon	Taux d'utilisation du BO								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	93,5	91,87	95,51	89,57	86,27	95,51	94,62	91,31	90,19
2	92,79	91,42	90,99	88,01	85,65	90,99	90,68	93,53	88,18
3	92,74	93,82	85,53	86,38	82,16	85,53	93,23	93,63	83,6
4	91,87	93,51	85,5	87,11	84,79	85,3	91,87	94,09	88,76
5	91,86	93,95	83,08	87,6	86,01	83,08	93,93	93,03	87,74

Tableau 5.17. Critère taux d'utilisation des salles des 9 heuristiques de la 3^{ème} instance

Dans les tableaux allant de 5.18 à 5.23, nous avons maximisé les critères multiples $C1 = NICP * 100\,000 + DUS$ et $C2 = DUS * 1000 + NICP$ avec les neuf heuristiques. Dans les tableaux 5.18, 5.19 et 5.20 de $C1$, les deux premiers chiffres à gauche correspondent au nombre d'IC placées dans les salles et les quatre derniers à droite correspondent à la durée d'utilisation des salles. Par contre dans les tableaux 5.21, 5.22 et 5.23 de $C2$, les quatre premiers chiffres à gauche correspondent à la durée d'utilisation des salles et les derniers à droite correspondent au nombre d'IC placées.

C'est normal que les résultats soient moins bons. Comme pour DUS et $NICNP$, les valeurs trouvées pour $C1$ et $C2$ avec les heuristiques sont inférieures à la première composante de l'intervalle des valeurs de $C1$ et $C2$ trouvées par Glpk et son interface utilisateur Gusek (cf. Tab. 5.7 et 5.8). L'heuristique ne fait qu'un placement des IC de la liste alors que Glpk maximise le critère en PLNE qu'on utilise.

Horizon	C1=NICP*100000 + DUS								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1101445	1101595	1301495	1101445	1101595	1301495	1101444	1101594	1301495
2	2302975	2203160	2602990	2202860	2103045	2602990	2403149	2203159	2602990
3	3204190	3104465	3704255	3104045	3004350	3704255	3304334	3204579	3704255
4	4405720	4306115	4605560	4305575	3905655	4605560	4505834	4306114	4605560
5	5607280	5507615	5506865	5407020	5007040	5506865	5607279	5607730	5707155

Tableau 5.18. Maximisation de C1 en OSMF de la 1^{ère} instance par les heuristiques

Horizon	C1=NICP*100000 + DUS								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1501684	1101640	2101720	1401614	1001540	2101720	1401613	1101630	2001625
2	3103334	2303250	3703250	2903164	2103045	3703250	2903163	2403325	3603149
3	4604844	3704860	4904495	4204529	3004260	4904495	4404738	3704854	4804380
4	6006446	5006485	6206010	5706116	4305885	6206010	6006445	5006530	6406250
5	7408068	6608165	7207310	7007698	5607350	7207310	7408107	6408085	7307444

Tableau 5.19. Maximisation de C1 en OSMF de la 2^{ème} instance par les heuristiques

Horizon	C1=NICP*100000 + DUS								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1501669	1101640	2101705	1401599	1001540	2101705	1501688	1101630	2001610
2	3103299	2303250	3703235	2903129	2103045	3703235	3003224	2403325	3603134
3	4604809	3704865	4904435	4204479	3004260	4904455	4604833	3704854	4804335
4	6006376	5006490	6205920	5706046	4305885	6205920	6006375	5006530	646160
5	7407983	6608165	7207220	7007613	5807475	7207220	7508162	6508085	7507624

Tableau 5.20. Maximisation de C1 en OSMF de la 3^{ème} instance par les heuristiques

Horizon	C2= DUS*1000 + NICP								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1445011	1595011	1495013	1445011	1595011	1495013	1444011	1594011	1495013
2	2975023	3160022	2990026	2860022	3045021	2990026	3149024	3159022	2990026
3	4190032	4465031	4255037	4045031	4350030	4255037	4334033	4579032	4255037
4	5720044	6115043	5560046	5575043	5655039	5560046	5834045	6114043	5560046
5	7280056	7615055	6865055	7020054	7040050	6865055	7279056	7730056	7155057

Tableau 5.21. Maximisation de C2 en OSMF de la 1^{ère} instance par les heuristiques

Horizon	C2= DUS*1000 + NICP								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1684015	1640011	1720021	1614014	1540010	1720021	1613014	1630011	1625020
2	3334031	3250023	3250037	3164029	3045021	3250037	3163029	3325024	3149036
3	4844046	4860037	4495049	4529042	4260030	4495049	4738044	4854037	4380048
4	6446060	6485050	6010062	6116057	5885043	6010062	6445060	6530050	6250064
5	8068074	8165066	7310072	7698070	7350056	7310072	8107074	8085064	7444073

Tableau 5.22. Maximisation de C2 en OSMF de la 2^{ème} instance par les heuristiques

Horizon	C2= DUS*1000 + NICP								
	FF	FFD	FFI	NF	NFD	NFI	BF	BFD	BFI
1	1669015	1640011	1705021	1599014	1540010	1705021	1688015	1630011	1610020
2	3299031	3250023	3235037	3129029	3045021	3235037	3224030	3325024	3134036
3	4809046	4865037	4435049	4479042	4260030	4435049	4833046	4854037	4335048
4	6376060	6490050	5920062	6046057	5885043	5920062	6375060	6530050	6160064
5	7983074	8165066	7220072	7613070	7475058	7220072	8162075	8085065	7624075

Tableau 5.23. Maximisation de C2 en OSMF de la 3^{ème} instance par les heuristiques

1.2.1.3. Couplage Métaheuristiques – Heuriste *FF* OSMF

La métaheuristique est couplée à l'heuristique *FF* pour optimiser différents critères. Nous ne travaillons pas sur un voisinage de solutions mais sur un voisinage d'ordonnements. L'heuristique *FF* place les IC d'un ordonnancement. Son algorithme est utilisé parce qu'il est simple à mettre en œuvre et ne comporte pas de tri interne, ce qui réduit le temps de traitement. D'autre part, la présence de tri dans l'heuristique modifie profondément l'ordonnement que l'on étudie, chose qui n'est pas souhaitable et peut nous empêcher d'atteindre certaines solutions.

Pour le couplage métaheuristique – heuristique, nous avons donné un nombre maximal d'itérations à atteindre, à savoir 100 000 000 d'itérations. Dans les trois tableaux suivants, nous avons calculé CPU, qui est la durée d'exécution nécessaire à l'obtention de la solution fournie par ce couplage. CPU est en général inférieure à la durée d'exécution du nombre maximal d'itérations.

Les tableaux 5.24, 5.25 et 5.26 présentent les meilleures valeurs de *NICNP* des différentes instances obtenues avec le couplage. Il faut rappeler que la liste des IC représente un ordonnancement.

Pour déterminer le temps CPU en secondes, nous avons procédé par la règle de 3. On multiplie le nombre d'itérations indiquant la meilleure valeur du critère au temps d'obtention de cette valeur et on divise par le nombre maximal d'itérations. Les colonnes de l'heuristique *FF* dans les tableaux 5.9, 5.10 et 5.11 présentant les valeurs de *NICNP* obtenues avec les trois instances, donnent les valeurs initiales du critère *NICNP*.

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	0,002	67	0,1	67	0,002	67
2	0,176	54	0,044	54	0,012	54
3	511,9	43	238,4	43	0,045	43
4	77,98	31	8,012	31	0,127	30
5	33,13	19	16,5	19	8,037	17

Tableau 5.24. Minimisation de *NICNP* en OSMF de la 1^{ère} instance par des couplages métaheuristiques - *FF*

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	282,5	80	112,6	80	0,627	79
2	95,49	64	729,3	64	891,9	60
3	707,9	50	889,9	50	43,35	46
4	94,7	36	51,23	36	7,686	32
5	13,14	22	270,1	22	40,88	19

Tableau 5.25. Minimisation de *NICNP* en OSMF de la 2^{ème} instance par des couplages métaheuristiques – *FF*

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	111	80	122,3	80	0,219	79
2	96,09	64	11,8	64	0,563	60
3	0,141	50	150,1	50	14,53	45
4	164,5	35	711,6	35	5,756	31
5	147,9	21	4,736	21	277,7	18

Tableau 5.26. Minimisation de *NICNP* en OSMF de la 3^{ème} instance par des couplages métaheuristiques – *FF*

On peut prendre l'ordonnancement obtenu après le placement de *FFI* et on applique *FF*. Une fois le placement de *FFI* effectué, on considère les périodes dans l'ordre jour, salle, heure de début et on construit la liste des IC en les prenant successivement pour construire un nouvel ordonnancement. La métaheuristique va utiliser *FF* qui va améliorer la valeur du critère initialement obtenu.

Les métaheuristiques n'ont pas suffisamment amélioré les valeurs du critère *NICNP* des différentes instances trouvées par l'heuristique *FF* dans les tableaux 5.9, 5.10 et 5.11.

1.2.2. Maintenance Variable MV

Dans cette sous-section, nous nous intéressons à la maintenance variable où le jour est fixé, mais où la maintenance est caractérisée par une heure de début au plus tôt et une heure de début au plus tard. Nous calculons le critère *NICNP* avec Gusek au tableau 5.37.

Les données des IM

Contrairement au cas de la maintenance fixée, ici, l'heure de début de l'IM varie dans un intervalle compris entre l'heure de début minimum et l'heure de début maximum. Le tableau 5.27 présente les données des IM pour le cas de la maintenance variable. La colonne NumIM indique le numéro de l'IM, le type de l'IM est donné par la colonne TypeIM. La colonne durée précise la durée de l'IM en minutes. Les colonnes Hdmin et Hdmax indiquent respectivement l'heure de début minimum et l'heure de début maximum de l'IM, toutes deux en minutes. La colonne Salle indique la salle où l'IM est prévue et la dernière colonne précise le jour de planification de l'IM.

NumIM	TypeIM	Durée	Hdmin	Hdmax	Salle	Jour
1	2	45	0	36	1	1
2	1	60	155,4	204	2	1
3	4	30	425,4	450	3	1
4	5	60	0	48	2	2
5	7	60	215,4	264	4	2
6	3	30	0	24	3	2
7	6	240	47,4	240	4	3
8	6	50	17,4	42	1	3
9	3	30	0	24	3	3
10	2	45	398,94	435	1	4
11	1	60	0	48	2	4
12	7	60	371,4	420	4	4
13	5	60	95,4	144	2	5
14	5	60	0	48	3	5
15	4	50	279,6	319,8	4	5

Tableau 5.27. Les données des IM pour OSMV

1.2.2.1. PLNE

Le tableau 5.28 présente les valeurs du critère *NICNP* obtenues avec Glpk et son interface utilisateur Gusek pour les trois instances. Dans chacune des instances, la valeur optimale du critère n'a pas pu être toujours obtenue.

Horizon	1 ^{ère} Instance		2 ^{ème} Instance		3 ^{ème} Instance	
	CPU	NICNP	CPU	NICNP	CPU	NICNP
1	0,374	67	0,841	79	0,548	79
2	0,645	54	60	[60 ; 61]	5,042	60
3	0,978	40	60	[44 ; 45]	60	[43 ; 44]
4	60	[24; 27]	60	[30 ; 31]	1654	[29 ; 31]
5	180	[13 ; 17]	900	[17 ; 18]	120	[16 ; 17]

Tableau 5.28. Critère *NICNP* en OSMV des 3 instances par la PLNE

1.2.2.2. Heuristique *FF* OSMV

L'heuristique *FF* OSMV construit le planning dans le placement des IC dans les périodes en tenant compte de la flexibilité accordée à l'heure de début de maintenance. Le tableau 5.29 présente les résultats du critère *NICNP* obtenus avec l'heuristique *FF* OSMV.

Horizon	1 ^{ère} instance	2 ^{ème} instance	3 ^{ème} instance
	NICNP	NICNP	NICNP
1	69	85	85
2	55	68	67
3	40	47	46
4	27	31	31
5	15	18	16

Tableau 5.29 : Critère *NICNP* pour les 3 instances fourni par l'heuristique *FF* OSMV

1.2.2.3. Couplage Métaheuristiques – heuriste *FF* OSMV

Nous minimisons le critère *NICNP* avec le couplage métaheuristiques – *FF* en tenant compte de la maintenance variable. Les tableaux 5.30, 5.31 et 5.32 présentent les résultats numériques des valeurs obtenues du critère *NICNP*.

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	0,001	67	0,008	67	0,002	67
2	0,177	54	0,078	54	0,028	54
3	51,23	40	62,12	40	0,022	40
4	803,8	27	5,135	27	0,038	27
5	82,72	15	667,8	15	0,051	14

Tableau 5.30. Minimisation de *NICNP* en OSMV de la 1^{ère} instance par des couplages métaheuristiques – *FF*

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	50,96	80	8,32	80	1,070	79
2	6,25	64	209,4	63	0,567	61
3	622,1	47	1407	47	8,875	46
4	33,42	33	1044	32	60,37	32
5	240,4	18	114,1	18	68,58	19

Tableau 5.31. Minimisation de *NICNP* en OSMV de la 2^{ème} instance par des couplages de métaheuristiques – *FF*

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	50,96	80	8,324	80	1,819	79
2	6,254	64	209,4	63	0,370	61
3	622,1	47	1407	47	724,1	45
4	35,42	33	1044	32	496,8	31
5	240,4	18	114,1	18	2734	18

Tableau 5.32. Minimisation de *NICNP* en OSMV de la 3^{ème} instance par des couplages de métaheuristiques – *FF*

1.3. Comparaison entre les deux maintenances MF et MV pour OS

Nous comparons ici en premier lieu les valeurs du critère *NICNP* présentées dans les tableaux 5.5 et 5.28, obtenues par la PLNE avec l'heure de début de maintenance fixée d'une part et l'heure de début de maintenance variable d'autre part. Les tableaux 5.33, 5.34 et 5.35 comparent les résultats du critère *NICNP* obtenus par la PLNE en maintenance fixée et en maintenance variable par instance traitée.

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	NICNP	NICNP
1	67	67
2	54	54
3	43	40
4	30	[24; 27]
5	[15 ; 17]	[13 ; 17]

Tableau 5.33 : Comparaison du critère *NICNP* obtenu de la 1^{ère} instance par la PLNE entre MF et MV pour OS

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	NICNP	NICNP
1	79	79
2	[60 ; 61]	[60 ; 61]
3	46	[44 ; 45]
4	[31 ; 32]	[30 ; 31]
5	[18 ; 19]	[17 ; 18]

Tableau 5.34 : Comparaison du critère *NICNP* obtenu de la 2^{ème} instance par la PLNE entre MF et MV pour OS

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	NICNP	NICNP
1	79	79
2	[60 ; 61]	60
3	45	[43 ; 44]
4	[31 ; 32]	[29 ; 31]
5	[18 ; 19]	[16 ; 17]

Tableau 5.35 : Comparaison du critère *NICNP* obtenu de la 3^{ème} instance par la PLNE entre MF et MV pour OS

Dans chacune des instances, la valeur optimale du critère n'a pas pu être toujours obtenue. Les valeurs obtenues du critère *NICNP* avec la 1^{ère} instance sont optimales sur les horizons 1 à 4 en maintenance fixée. Seul l'horizon 5 présente une solution non optimale. En maintenance variable, les valeurs du critère *NICNP* dans les horizons 1 et 2 des trois instances sont identiques à celles obtenues en maintenance fixée dans lesdits horizons. A partir de l'horizon 3, on constate l'effet de la flexibilité de l'heure de début de maintenance sur les valeurs du critère. On constate en maintenance variable, que trois IC de plus sont affectées à l'horizon 3 et à l'horizon 4 avec la première instance, une IC de plus en deuxième et troisième instance. Nous constatons en général que la flexibilité accordée à l'heure de début de maintenance permet d'affecter plus d'IC dans les salles pour les trois instances. Une légère amélioration du critère *NICNP* est visible à partir de l'horizon 3.

Le nombre d'IC non placées de la première instance par exemple varie entre 15 et 17 à la fin de l'horizon de planification en maintenance fixée. Ce nombre d'IC non placées varie entre 13 et 17 dans la même instance en maintenance variable. Les nombres 13 et 15 sont des minorants de *NICNP*.

Nous comparons en second lieu les valeurs du critère *NICNP* obtenues par les couplages métaheuristiques – heuristiques *FF* en maintenance fixée et en maintenance variable. Nous présentons ici uniquement le cas des valeurs du critère obtenues en première instance en maintenance fixée et variable. Les autres cas seront présentés en annexe. Le tableau 5.36 présente les valeurs du critère *NICNP* de la première instance obtenues par les couplages.

Horizon	Maintenance fixée MF			Maintenance variable MV		
	DS	RS	KA	DS	RS	KA
	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP
1	67	67	67	67	67	67
2	54	54	54	54	54	54
3	43	43	43	40	40	40
4	31	31	30	27	27	27
5	19	19	17	15	15	14

Tableau 5.36 : Comparaison du critère *NICNP* de la première instance obtenu par les couplages métaheuristiques – *FF OSMF* et *FF OSMV* entre MF et MV

Ici également le critère *NICNP* présente les différences à partir de l’horizon 3. En maintenance fixée, à l’horizon 3, les couplages *DS*, *RS* et *KA* affichent 43 IC non placées, alors qu’en maintenance variable *DS*, *RS* et *KA* donnent 40 IC non placées.

Nous constatons également ici que la flexibilité accordée à l’heure de début de maintenance permet d’affecter plus d’IC dans les salles pour la première instance. Une légère amélioration du critère *NICNP* est visible dans les horizons 3, 4 et 5.

Nous constatons que les valeurs de *NICNP* obtenues avec nos méthodes dans le tableau 5.36 ne sont pas meilleures que celles proposées par Glpk avec son interface utilisateur Gusek au tableau 5.33. Mais, l’algorithme du kangourou donne les meilleures solutions en un temps très court comme le montre la colonne CPU des différents tableaux des résultats des couplages présentés précédemment.

2. Block Scheduling BS

Dans cette stratégie de programmation opératoire, toutes les salles sont divisées en plages horaires. Les plages horaires sont allouées préalablement aux chirurgiens. La spécialité des salles est considérée. L’IC est affectée à la plage du chirurgien traitant. Nous avons utilisé les mêmes instances des IC et des IM que celles du cas Open Scheduling. 7 spécialités au total sont traitées dans les quatre salles du BO. de l’hôpital Laquintinie par 14 chirurgiens.

Les 14 chirurgiens sont répartis ainsi qu’il suit :

- 3 pour la chirurgie viscérale,
- 1 urologue,
- 3 orthopédistes,
- 1 neurochirurgien vacataire,
- 3 ORL,
- 2 cancérologues,
- 1 chirurgien pédiatre.

Les 7 spécialités des chirurgiens sont : ORL (salle 4), Urologie (salle 1), oncologie (salle 4), orthopédie (salle 2 et 3), Neurochirurgie (salle 3), chirurgie pédiatrique (salle 4) et chirurgie viscérale (salle 1 et 4). Dans chacune de ces spécialités, on retrouve différents types d'IC.

2.1. Présentation des instances

Pour tester nos méthodes, nous avons travaillé avec les mêmes instances que celles du cas Open Scheduling. Nous introduisons la spécialité de la salle et le type de l'IC. Chacune des sept spécialités comportent différents types d'intervention.

Le tableau 5.37 présente les données des 80 IC de la première instance. La colonne TypeIC indique le type de l'IC, la spécialité du type est indiquée par la colonne Spécialité. La durée de l'IC en minutes est donnée par la colonne Durée. Le temps de décontamination Tdec en minutes est indiqué par la colonne Tdec. Le nombre d'IC par type est précisé par la colonne Nombre.

Les tableaux 5.38 et 5.39 suivants présentent les données des 100 IC de la deuxième et de la troisième instance. Dans ces deux tableaux, les colonnes donnent les mêmes informations que dans le tableau 5.37.

Les données des plages horaires utilisées dans le cas de la stratégie de programmation par allocation préalable des plages aux chirurgiens ou BS ont également été générées par nos soins après les échanges avec le responsable du BO de l'HLD. La durée minimum d'une plage est de 2 heures. Plusieurs plages peuvent être allouées à un chirurgien dans une salle ou dans différentes salles un jour donné de l'horizon de planification.

Type	Spécialité	Durée	Nombre
2	Urologie	90	3
3	Urologie	90	5
4	Urologie	90	2
5	Urologie	120	1
6	Chirurgie Viscérale	90	8
7	Chirurgie Viscérale	90	7
8	Chirurgie Viscérale	120	9
9	Chirurgie Viscérale	120	7
10	Cancérologie	90	7
14	Orthopédie	120	5
15	Orthopédie	120	4
16	Orthopédie	120	3
17	Orthopédie	90	3
18	Chirurgie pédiatrique	90	1
19	Chirurgie pédiatrique	120	1
20	Neurologie	90	1
21	Neurologie	120	1
22	Neurologie	120	1
27	ORL	120	2
28	ORL	120	2
29	ORL	120	4
30	ORL	120	3

Tableau 5.37. Les données des IC de la première instance pour BS

Type	Spécialité	Durée	Nombre
2	Urologie	45	3
3	Urologie	90	5
4	Urologie	100	2
5	Urologie	65	1
6	Chirurgie Viscérale	50	8
7	Chirurgie Viscérale	70	7
8	Chirurgie Viscérale	115	9
9	Chirurgie Viscérale	110	7
10	Cancérologie	70	7
12	Cancérologie	60	1
13	Cancérologie	90	1
14	Orthopédie	112	5
15	Orthopédie	110	5
16	Orthopédie	70	4
17	Orthopédie	80	3
18	Chirurgie Pédiatrique	75	4
19	Chirurgie Pédiatrique	95	5
20	Neurologie	45	1
21	Neurologie	95	1
22	Neurologie	110	1
23	Neurologie	135	1
24	Neurologie	175	2
25	Neurologie	110	1
27	ORL	110	3
28	ORL	70	3
29	ORL	90	5
30	ORL	75	5

Tableau 5.38. Les données des IC de la deuxième instance pour BS

Type	Spécialité	Durée	Nombre
2	Urologie	45	3
3	Urologie	75	5
4	Urologie	100	2
5	Urologie	65	1
6	Chirurgie Viscérale	50	8
7	Chirurgie Viscérale	70	7
8	Chirurgie Viscérale	115	9
9	Chirurgie Viscérale	110	7
10	Cancérologie	70	7
12	Cancérologie	60	1
13	Cancérologie	95	1
14	Orthopédie	112	5
15	Orthopédie	110	5
16	Orthopédie	70	4
17	Orthopédie	80	3
18	Chirurgie Pédiatrique	75	4
19	Chirurgie Pédiatrique	95	5
20	Neurologie	45	1
21	Neurologie	95	1
22	Neurologie	110	1
23	Neurologie	135	1
24	Neurologie	175	2
25	Neurologie	110	1
27	ORL	110	3
28	ORL	65	3
29	ORL	90	5
30	ORL	75	5

Tableau 5.39. Les données des IC de la troisième instance pour BS

Le tableau 5.40 présente les données des plages horaires d'un horizon de deux jours de planification ou deux jours d'ouverture du bloc opératoire. Ces plages sont préalablement allouées aux chirurgiens. La colonne NumPL donne le numéro de la plage, le jour de la plage est précisé dans la colonne JourPL, la salle dans laquelle la plage est prévue est donnée par la colonne SallePL, le chirurgien à qui la plage est allouée est indiqué par la colonne NumChir. L'heure de début de la plage est donnée en heure dans la colonne Hdeb et la durée de la plage en heure est donnée par la dernière colonne du tableau DureePL.

Les données des plages horaires (exemple de données des plages d'un horizon de deux jours)

NumPL	JourPL	SallePL	NumChir	Hdeb	DureePL
1	1	1	2	8	4
2	1	1	3	12	2
3	1	1	4	14	2
4	1	2	8	8	4
5	1	2	7	12	2
6	1	2	8	14	2
7	1	3	7	8	2
8	1	3	9	10	6
9	1	4	12	8	2
10	1	4	5	10	2
11	1	4	13	12	2
12	1	4	14	14	2
13	2	1	1	8	4
14	2	1	4	12	2
15	2	1	3	14	2
16	2	2	7	8	2
17	2	2	8	10	2
18	2	2	9	12	2
19	2	2	8	14	2
20	2	3	11	8	6
21	2	3	7	14	2
s22	2	4	10	8	4
23	2	4	5	12	2
24	2	4	6	14	2

Tableau 5.40. Les données des plages horaires pour BS

Les données des IM

Elles sont les mêmes que celles du cas Open Scheduling avec maintenance fixée et par analogie celles du cas Open Scheduling avec maintenance variable sont valables pour le cas Block Scheduling avec maintenance variable.

2.2. Résultats obtenus

2.2.1. Maintenance Fixée MF

Nous rappelons dans ce cas, que les salles d'opération et les plages des chirurgiens sont considérées. L'IM est planifiée sur une plage ou sur deux plages consécutives au plus. Une IM placée sur une plage du chirurgien la divise en deux. Les deux parties renumérotées sont considérées comme deux plages distinctes de ce chirurgien. Le placement de l'IM dans les plages est effectif avant celui des IC. L'heure de début de l'intervention de maintenance en maintenance fixée est imposée par le service de maintenance.

2.2.1.1. PLNE

Le tableau 5.41 présente les valeurs du critère *NICNP* des trois instances calculées avec Glpk et son interface utilisateur Gusek. CPU indique le temps nécessaire en secondes pour calculer *NICNP*.

Horizon	1 ^{ère} Instance		2 ^{ème} Instance		3 ^{ème} Instance	
	CPU	NICNP	CPU	NICNP	CPU	NICNP
1	0,69	70	0,339	86	0,353	86
2	0,347	62	0,369	71	0,23	71
3	0,343	55	0,575	63	0,336	63
4	0,564	49	0,445	54	0,447	54
5	0,454	44	0,434	47	0,446	47

Tableau 5.41 : Minimisation de *NICNP* en BSMF des 3 instances par la PLNE

2.2.1.2. Heuristique *FF* BSMF

L'heuristique *FF* BSMF construit le planning dans le placement des IC dans les plages horaires allouées aux chirurgiens. Le tableau 5.42 présente les valeurs du critère *NICNP* fourni par l'heuristique *FF* BSMF.

Horizon	1 ^{ère} instance	2 ^{ème} instance	3 ^{ème} instance
	NICNP	NICNP	NICNP
1	70	87	87
2	62	73	72
3	57	65	64
4	50	57	56
5	45	50	49

Tableau 5.42 : Critère *NICNP* fourni pour les 3 instances par l'heuristique *FF* BSMF

2.2.1.3. Couplage Métaheuristiques - *FF* BSMF

Les métaheuristiques *DS*, *RS* et *KA* sont couplées à l'heuristique *FF* pour optimiser différents critères. Les tableaux 5.43, 5.44 et 5.45 montrent les valeurs du critère *NICNP* minimisées par les trois métaheuristiques. Toutes les valeurs de *NICNP* de chaque instance sont obtenues à moins d'une seconde dans chacun des horizons comme l'indique la colonne CPU. Avec la 1^{ère} instance, les 3 métaheuristiques ont les mêmes valeurs calculées de *NICNP* de l'horizon 1 à 5.

C'est le même constat dans le tableau 5.44 avec la 2^{ème} instance sauf à l'horizon 2 où l'algorithme du kangourou indique 71 pour *NICNP*. L'algorithme du *KA* parvient à obtenir des valeurs de *NICNP* avec un temps relatif très réduit par rapport à *DS* et *RS*.

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	0,001	70	0,001	70	0,001	70
2	0,002	62	0,002	62	0,003	62
3	0,099	55	0,142	55	0,048	55
4	0,006	49	0,001	49	0,001	49
5	0,001	44	0,001	44	0,001	44

Tableau 5.43. Minimisation de *NICNP* en BSMF de la 1^{ère} instance par les couplages métaheuristiques – *FF* BSMF

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	0,001	86	0,005	86	0,004	86
2	0,145	72	0,030	72	0,026	71
3	0,095	63	0,179	63	0,020	63
4	0,158	54	0,27	54	0,024	54
5	0,151	47	0,281	47	0,029	47

Tableau 5.44. Minimisation de *NICNP* en BSMF de la 2^{ème} instance par les couplages métaheuristiques – *FF* BSMF

Horizon	NICNP					
	CPU	DS	CPU	RS	CPU	KA
1	0,004	86	0,004	86	0,004	86
2	0,088	71	0,005	71	0,009	71
3	0,080	63	0,024	63	0,011	63
4	0,104	54	0,032	54	0,031	54
5	0,129	47	0,034	47	0,037	47

Tableau 5.45. Minimisation de *NICNP* en BSMF de la 3^{ème} instance par les couplages métaheuristiques – *FF* BSMF

2.2.2. Maintenance Variable MV

Dans ce dernier cas, la flexibilité est accordée à l'heure de début de maintenance. Nous utilisons de préférence comme métaheuristique, l'algorithme du kangourou. Nous rappelons ici le principe du placement de l'IM déjà évoqué aux chapitres 3 et 4. Une IM peut être placée sur une ou deux plages consécutives au plus. Une fois les heures de début minimum et maximum de l'IM calculées, on détermine l'intervalle d'exécution possible de l'IM. Le service de maintenance pourra confirmer un créneau dans l'intervalle heure de début minimum et heure de fin maximum de l'IM. Les IC pourront être affectées avant l'heure de début maximum et après l'heure de fin minimum de l'IM.

2.2.2.1. PLNE

Le tableau 5.46 présente les résultats des valeurs de *NICNP* calculées avec Glpk et son interface utilisateur Gusek pour les trois instances.

Horizon	1 ^{ère} Instance		2 ^{ème} Instance		3 ^{ème} Instance	
	CPU	NICNP	CPU	NICNP	CPU	NICNP
1	0,789	70	0,411	85	0,341	85
2	0,381	62	0,328	70	0,369	70
3	0,468	55	0,473	62	0,493	62
4	0,506	49	0,591	52	0,565	52
5	0,578	43	0,676	45	0,733	45

Tableau 5.46. Minimisation de *NICNP* en BSMV des 3 instances par la PLNE

2.2.2.2. Couplage algorithme du kangourou *KA - FF*

L'algorithme du kangourou ayant produit rapidement les meilleurs résultats du critère *NICNP* dans le cas algorithme du kangourou *KA* – heuristique *FF* avec maintenance fixée. On proposera uniquement ici les résultats du critère obtenus avec ce couplage. Le tableau 5.47 présente les résultats des valeurs du critère *NICNP* calculées avec les trois instances.

Horizon	1 ^{ère} Instance		2 ^{ème} Instance		3 ^{ème} Instance	
	CPU	NICNP	CPU	NICNP	CPU	NICNP
1	0,002	70	0,110	85	0,106	85
2	0,003	62	0,420	70	0,164	70
3	0,345	55	0,414	62	0,201	62
4	0,007	49	0,466	52	0,509	52
5	0,010	43	0,595	45	0,494	45

Tableau 5.47. Minimisation de *NICNP* en BSMV des 3 instances par le couplage algorithme du kangourou *KA* – heuristique *FF*

2.3. Comparaison entre les deux maintenances MF et MV pour BS

Nous comparons d'abord les valeurs du critère *NICNP* présentées dans les tableaux 5.41 et 5.46, obtenues par la PLNE avec l'heure de début de maintenance fixée d'une part et l'heure de début de maintenance variable d'autre part. Les tableaux 5.48, 5.49 et 5.50 comparent les résultats du critère *NICNP* obtenus par la PLNE en maintenance fixée et en maintenance variable par instance traitée.

Les valeurs obtenues du critère *NICNP* par Glpk et son interface utilisateur Gusek avec toutes les instances sont optimales. Pour la première instance, les valeurs de *NICNP* sont les mêmes de l'horizon 1 à l'horizon 4 en maintenance fixée et en maintenance variable. C'est à l'horizon 5 de la première instance que la PLNE affecte une IC de plus en maintenance variable qu'en maintenance fixée. Pour les deuxième et troisième instances, de l'horizon 1 à l'horizon 3, la PLNE affecte une IC de plus en maintenance variable qu'en maintenance fixée. De l'horizon 4 à l'horizon 5, ce sont deux IC de plus qui sont affectées par la PLNE en maintenance variable qu'en maintenance fixée.

On constate l'effet de la flexibilité de l'heure de début de maintenance sur les valeurs du critère en maintenance variable à l'horizon 5 de la première instance et de l'horizon 1 à l'horizon 5 des deux dernières instances.

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	NICNP	NICNP
1	70	70
2	62	62
3	55	55
4	49	49
5	44	43

Tableau 5.48 : Comparaison du critère *NICNP* de la 1^{ère} instance obtenu par la PLNE entre MF et MV pour BS

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	NICNP	NICNP
1	86	85
2	71	70
3	63	62
4	54	52
5	47	45

Tableau 5.49 : Comparaison du critère *NICNP* de la 2^{ème} instance obtenu par la PLNE entre MF et MV pour BS

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	NICNP	NICNP
1	86	85
2	71	70
3	63	62
4	54	52
5	47	45

Tableau 5.50 : Comparaison du critère *NICNP* de la 3^{ème} instance obtenu par la PLNE entre MF et MV pour BS

Nous comparons en second lieu les valeurs du critère *NICNP* obtenues par les couplages kangourou – *FF* BSMF et kangourou – *FF* BSMV en maintenance fixée et en maintenance variable. Nous présentons ici les valeurs du critère *NICNP* obtenues avec les trois instances en maintenance fixée et variable par ces couplages. Les tableaux 5.51, 5.52 et 5.53 comparent les valeurs de *NICNP* obtenues par instance traitée.

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	<i>KA – FF</i> BSMF	<i>KA – FF</i> BSMV
1	70	70
2	62	62
3	55	55
4	49	49
5	44	43

Tableau 5.51 : Comparaison du critère *NICNP* obtenu de la 1^{ère} instance par les couplages *KA – FF* BSMF et *KA – FF* BSMV entre MF et MV

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	<i>KA – FF BSMF</i>	<i>KA – FF BSMV</i>
1	86	85
2	71	70
3	63	62
4	54	52
5	47	45

Tableau 5.52 : Comparaison du critère *NICNP* obtenu de la 2^{ème} instance par les couplages *KA – FF BSMF* et *KA – FF BSMV* entre MF et MV

Horizon	Maintenance fixée MF	Maintenance variable MV
	<i>KA – FF BSMF</i>	<i>KA – FF BSMV</i>
1	86	85
2	71	70
3	63	62
4	54	52
5	47	45

Tableau 5.53 : Comparaison du critère *NICNP* obtenu de la 3^{ème} instance par les couplages *KA – FF BSMF* et *KA – FF BSMV* entre MF et MV

Pour la première instance, les valeurs de *NICNP* obtenues par le couplage kangourou – *FF BSMF* en maintenance fixée sont les mêmes que celles obtenues par le couplage kangourou – *FF BSMV* de l’horizon 1 à l’horizon 4 en maintenance variable. C’est à l’horizon 5 de la première instance que le couplage kangourou – *FF BSMV* affecte une IC de plus en maintenance variable que le couplage kangourou – *FF BSMF* en maintenance fixée. Pour les deuxième et troisième instances, de l’horizon 1 à l’horizon 3, le couplage kangourou – *FF BSMV* affecte une IC de plus que le couplage kangourou – *FF BSMF*. De l’horizon 4 à l’horizon 5, ce sont deux IC de plus qui sont affectées par le couplage kangourou – *FF BSMV* en maintenance variable. On constate également dans ce cas l’effet de la flexibilité de l’heure de début de maintenance sur les valeurs du critère en maintenance variable.

3. Comparaison entre les deux stratégies OS et BS

Nous avons construit le planning opératoire avec la stratégie de programmation ouverte ou OS en maintenance fixée et variable. Cette stratégie qui consiste à construire les plannings d'allocation des interventions chirurgicales pour une période de planification sans tenir compte des préférences des chirurgiens. Ensuite, nous avons construit le planning opératoire avec la stratégie de Block Scheduling qui consiste à allouer préalablement des plages horaires aux chirurgiens en maintenance fixée et variable. Les tableaux 5.54, 5.55 et 5.56 comparent les valeurs du critère *NICNP* obtenues par Glpk avec son interface utilisateur Gusek par instance pour Open Scheduling et Block Scheduling en maintenance fixée.

Nous comparons les modèles des deux stratégies d'abord en maintenance fixée (OSMF et BSMF) et ensuite en maintenance variable (OSMV et BSMV). Glpk avec son interface utilisateur Gusek n'a pas toujours pu trouver la valeur optimale pour *NICNP* dans la stratégie Open Scheduling en maintenance fixée et variable. Par contre en Block Scheduling toutes les valeurs du critère trouvées sont optimales en maintenance fixée et variable.

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMF	BSMF
1	67	70
2	54	62
3	43	55
4	30	49
5	[15 ; 17]	44

Tableau 5.54 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé en maintenance fixée par la PLNE pour OS et BS de la 1^{ère} instance

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMF	BSMF
1	79	86
2	[60 ; 61]	71
3	46	63
4	[31 ; 32]	54
5	[18 ; 19]	47

Tableau 5.55 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé en maintenance fixée par la PLNE pour OS et BS de la 2^{ème} instance

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	NICNP	NICNP
1	79	86
2	[60 ; 61]	71
3	45	63
4	[31 ; 32]	54
5	[18 ; 19]	47

Tableau 5.56 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé en maintenance fixée par la PLNE pour OS et BS de la 3^{ème} instance

Avec la stratégie Open Scheduling en maintenance fixée, on constate à l'horizon 5 pour les trois instances, que la PLNE affecte plus d'IC dans les salles qu'avec la stratégie Block Scheduling. Pour les trois instances respectives en maintenance fixée, *NICNP* affiche à la fin de l'horizon de planification les nombres 15, 18 et 18, qui sont ses minorants. Par contre en BSMF pour le même horizon 5, *NICNP* affiche respectivement pour les trois instances 44, 47 et 47.

Les tableaux 5.57, 5.58 et 5.59 comparent les valeurs du critère *NICNP* obtenues par Glpk avec son interface utilisateur Gusek par instance pour Open Scheduling et Block Scheduling en maintenance variable

En maintenance variable, avec la stratégie Open Scheduling *NICNP* affiche à l'horizon 5 respectivement pour les trois instances les nombres 13, 17 et 16 qui sont ses minorants. Cependant, dans le même horizon Block Scheduling *NICNP* affiche respectivement pour les trois instances les nombres 43, 45 et 45.

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMV	BSMV
1	67	70
2	54	62
3	40	55
4	[24 ; 27]	49
5	[13 ; 17]	43

Tableau 5.57 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé en maintenance variable par la PLNE pour OS et BS de la 1^{ère} instance

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMV	BSMV
1	79	86
2	[60 ; 61]	71
3	[44 ; 45]	63
4	[30 ; 31]	54
5	[17 ; 18]	47

Tableau 5.58 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé en maintenance variable par la PLNE pour OS et BS de la 2^{ème} instance

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMV	BSMV
1	79	85
2	60	70
3	[43 ; 44]	62
4	[29 ; 31]	52
5	[16 ; 17]	45

Tableau 5.59 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé en maintenance variable par la PLNE pour OS et BS de la 3^{ème} instance

Nous constatons que la construction du planning opératoire avec la stratégie Open Scheduling permet d'affecter plus d'IC dans les salles. Ce constat peut se justifier par le fait qu'en Block Scheduling, la spécialité des salles d'opération est prise en compte, elles ne peuvent plus accueillir tout type d'IC, en plus l'introduction des plages horaires des chirurgiens, et aussi la présence de l'intervention de maintenance dans une plage pouvant empêcher l'affectation d'une IC dans ladite plage.

Nous comparons ensuite les valeurs de *NICNP* obtenues dans les deux stratégies avec nos méthodes. Les tableaux 5.60, 5.61 et 5.62 présentent les valeurs du critère *NICNP* obtenues en maintenance fixée pour les trois instances.

Horizon	Open Scheduling			Block Scheduling		
	Métaheuristique - <i>FF</i>			Métaheuristique - <i>FF</i>		
	DS	RS	KA	DS	RS	KA
1	67	67	67	70	70	70
2	54	54	54	62	62	62
3	43	43	43	55	55	55
4	31	31	30	49	49	49
5	19	19	17	44	44	44

Tableau 5.60 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé par les couplages Métaheuristique - *FF* en MF entre OS et BS en première instance

Horizon	Open Scheduling			Block Scheduling		
	Métaheuristique - <i>FF</i>			Métaheuristique - <i>FF</i>		
	DS	RS	KA	DS	RS	KA
1	80	80	79	86	86	86
2	64	64	60	72	72	71
3	50	50	46	63	63	63
4	36	36	32	54	54	54
5	22	22	19	47	47	47

Tableau 5.61 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé par les couplages Métaheuristique - *FF* en MF entre OS et BS en deuxième instance

Horizon	Open Scheduling			Block Scheduling		
	Métaheuristique - <i>FF</i>			Métaheuristique - <i>FF</i>		
	DS	RS	KA	DS	RS	KA
1	80	80	79	86	86	86
2	64	64	60	71	72	71
3	50	50	45	63	63	63
4	35	35	31	54	55	54
5	21	21	18	47	48	47

Tableau 5.62 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé par les couplages Métaheuristique - *FF* en MF entre OS et BS en troisième instance

Nous constatons aussi qu'avec la stratégie Open Scheduling en maintenance fixée, nos méthodes affectent plus d'IC dans les salles que dans le cas de la stratégie Block Scheduling.

Les tableaux 5.63, 5.64 et 5.65 présente les valeurs de *NICNP* obtenues en maintenance variable pour les trois instances. Cependant, la comparaison concerne uniquement les valeurs de *NICNP* obtenues par le couplage kangourou – heuristique *FF* en première instance.

Nous constatons qu'à l'horizon 5, *NICNP* affiche 14 en Open Scheduling et 43 en Block Scheduling. Bien que la flexibilité soit accordée à l'heure de début de maintenance, nos méthodes affectent toujours plus d'IC dans les salles en Open Scheduling qu'en Block Scheduling.

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMV	BSMV
1	67	70
2	54	62
3	40	55
4	27	49
5	14	43

Tableau 5.63 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé par les couplages *KA - FF* OSMV et *KA - FF* BSMV en maintenance variable entre OS et BS en 1^{ère} instance

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMV	BSMV
1	79	85
2	61	70
3	46	62
4	32	52
5	19	45

Tableau 5.64 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé par les couplages *KA - FF* OSMV et *KA - FF* BSMV en maintenance variable entre OS et BS en 2^{ème} instance

Horizon	Open Scheduling	Block Scheduling
	OSMV	BSMV
1	79	85
2	61	70
3	45	62
4	31	52
5	18	45

Tableau 5.65 : Comparaison du critère *NICNP* minimisé par les couplages *KA - FF* OSMV et *KA - FF* BSMV en maintenance variable entre OS et BS en 3^{ème} instance

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis en œuvre différentes méthodes de résolution (exacte et approchées) présentées dans les chapitres 3 et 4 sur les données de trois instances générées. Nous avons à l'aide de la PLNE recherché à chaque fois une solution de référence pour le critère. Une durée limite de recherche de la valeur du critère a été fixée à 10 000 secondes à chaque fois. A l'issue de cette durée limite, la PLNE n'a pas permis d'obtenir une valeur entière dans chaque horizon pour les différentes instances.

La flexibilité accordée à l'heure de début de maintenance permet de placer plus d'IC dans les salles dans la stratégie de programmation ouverte ou Open Scheduling. Ce constat est fait autant en PLNE qu'avec nos méthodes.

Nous avons également utilisé les couplages de l'heuristique First-Fit *FF* avec les métaheuristiques *DS*, *RS* et *KA*. La valeur du critère obtenue par nos méthodes est parfois identique à la solution du solveur Glpk. Nous avons préféré coupler les métaheuristiques utilisées avec l'heuristique *FF* car elle ne trie pas les ordonnancements. L'heuristique *FF* nous a permis d'obtenir un planning. Ce dernier indique le jour, la salle, le numéro de la plage, le type d'intervention affectée. Nous allons présenter un exemple de planning en annexe.

Nos résultats sont prometteurs et notre outil d'aide à la décision sera implanté à l'HLD et mis en œuvre sur des données réelles. Il serait intéressant de tester nos méthodes sur les instances provenant des données réelles de l'HLD.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à la planification opératoire du BO de l'HLD. Nous avons travaillé sur la partie opérationnelle qui consiste à affecter les IC dans les salles d'opération. Le problème de la planification opératoire a pris en compte non seulement les IC, mais également les interventions de maintenance préventive devant s'effectuer dans les salles. L'analogie entre ce problème et le problème du bin packing a été réalisée. Ce mémoire est articulé autour de cinq chapitres.

Dans le chapitre 1, nous avons présenté le contexte et la problématique de nos travaux. Pour cela, nous avons débuté par la présentation des systèmes de santé publique français et camerounais. Les problèmes rencontrés dans le système de santé camerounais ont été soulevés. Ensuite, nous avons défini le bloc opératoire et la programmation opératoire selon la littérature, et nous nous sommes intéressés au fonctionnement des blocs opératoires français avec leurs différentes stratégies de programmation et enfin au fonctionnement des blocs opératoires camerounais avec leurs problèmes. La fonction maintenance et ses différentes stratégies selon la norme européenne AFNOR NF EN 13306 ont été définies. Ce chapitre se termine par la problématique qui amène à ce mémoire.

Le chapitre 2 est une revue de la littérature portant sur la planification opératoire. Nous avons proposé une classification pour structurer ce chapitre, suivant deux spécificités du problème que nous souhaitons traiter : la prise en compte de un ou plusieurs types de ressources et la prise en compte du type de salles (salle polyvalente ou salle dédiée). Une notation, réalisée par analogie avec la notation $(\alpha/\beta/\gamma)$ de (Graham et al., 1979), est également proposée. Le champ α décrit les caractéristiques des salles d'opération, des chirurgiens et des équipements. Le champ β décrit les règles de gestion qui régissent le modèle, c'est-à-dire les règles qui font interagir les IC et les différentes ressources. Le champ γ concerne les critères de performance. Ensuite, nous avons présenté des travaux de la littérature en suivant la structure de la classification proposée et terminé par un résumé des méthodes de résolution utilisées.

Le chapitre 3 débute par une description de la méthode de modélisation que nous avons suivie. Elle est composée de quatre étapes. La première étape consiste à construire le modèle de connaissance qui fait l'objet de ce chapitre. Ce modèle est réalisé après une phase d'analyse et de spécification du problème traité. Ce travail est présenté sous la forme d'un diagramme de classes UML pour la modélisation des données de base. La deuxième étape est la réalisation du modèle d'action, qui est une traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique ou dans un langage de programmation, qui est aussi l'objet de ce chapitre.

Le chapitre 4 commence par la présentation des méthodes de résolution pour l'optimisation combinatoire. Ensuite, le problème du bin packing est présenté. La construction du modèle d'action débutée au chapitre 3 avec les formalisations mathématiques continue ici avec la présentation des méthodes proposées pour la résolution du problème étudié que nous avons utilisées ainsi que des techniques d'hybridation.

Le chapitre 5 a permis la mise en œuvre des différentes méthodes de résolution (exacte et approchées) présentées dans le chapitre 4 à travers les formalisations mathématiques présentées au chapitre 3. Pour la résolution du problème de planification, nous avons utilisé deux jeux de données générées représentatives de la réalité de l'HLD. Ces instances ont été traitées par un solveur afin de fournir des résultats de référence. Certains résultats sont sous la forme de solution optimale et d'autres se trouvant dans un intervalle les contenant. Si la méthode exacte a parfois nécessité un temps de traitement important pour trouver la solution optimale, nos méthodes ont parfois donné une bonne solution rapidement. Les résultats obtenus sont encourageants pour la suite de nos travaux.

Perspectives

L'utilisation du couplage de l'heuristique avec la métaheuristique favorise le traitement d'un plus large spectre des problèmes, en intégrant de nouvelles contraintes à prendre en compte dans l'heuristique proposée. Les problématiques suivantes pourront être traitées :

- Après affectation des IC, réordonner les IC par période ou plage en tenant compte du critère de priorité ;
- Autres méthodes : métaheuresiques basées population, bin packing à deux dimensions ;
- Utilisation des travaux au Cameroun ;
- Est-on capable d'atteindre n'importe quelle solution optimale à partir de n'importe quelle séquence initiale?
- Amélioration des performances du couplage métaheuristique-heuristique.

A la question posée, la réponse est oui. Cela ouvre des perspectives sur l'amélioration des performances du couplage métaheuristique – heuristique. L'algorithme suivant construit la séquence L. les IC placées sont d'abord traitées ensuite les IC non placées.

Algorithme d'obtention d'une séquence d'IC à partir de la solution X

Nl:=0 ; M:=0	{Nombre de lignes ou d'IC placées}
Pour p:=1, NP	{Pour chaque plage}
Pour c:=1, NC	{Pour chaque IC}
Si X(c,p)=1 Alors	{Si l'IC est placée}
Nl:=Nl+1 ; L(Nl):=c ; M(c):=1	{Mise à jour Nl}
Fin si	
Fin pour	
Fin pour	
! Ajouter les IC non placées	
Nm:=Nl	
Pour c:=1, NC	{Pour chaque IC}
Si M(c)=0 Alors	{Si l'IC n'est pas placée}
Nm:=Nm+1 ; L(Nm):=c	{Mise à jour Nm}
Fin si	
Fin pour	

Références bibliographiques

- Aarts, E. et van Laarhoven, P. (1987). *Simulated Annealing : Theory and Applications*. Kluwer Academics Publishers.
- Aghezzaf, E. H., Jamali, M. A., Ait-Kadi, D. (2007). An integrated production and preventive maintenance planning model. *European Journal of Operational Research* 181 (2007) 679-685.
- Agnetis, A., Coppi, A., Corsini, M., Dellino, G., Me-loni, C., and M. Pranzo, (2012). Long term evaluation of operating theater planning policies. *Operations Research for Health Care 1*, (2012), p. 95–104.
- 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.
- Assid, M., Gharbi, A., Hajji, A. (2015). Production Planning and Opportunistic Preventive Maintenance for Unreliable One-Machine Two-Products Manufacturing Systems. *IFAC-PapersOnLine* 48-3 (2015) 478-483.
- Balogh, J., Békési, J., et Galambos, G. (2012). New lower bounds for certain classes of bin packing algorithms. *Theoretical Computer Science*, 440:1-13.
- Basili, V. R. et Turner, A. J. (1975). Iterative enhancement : A practical technique for software development. *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 1, n° 4, p. 390-396.
- Beheshti Fakher, H., Nourelfath, M., Gendreau, M. (2015). *IFAC-PapersOnline* 48-3 (2015) 747-754.
- Bin, W., Qinke, P., Jing, Z., and Xiao, C. (2012). A binary particle swarm optimization algorithm inspired by multi-level organizational learning behavior. *European Journal of Operational Research*, 219(2), p. 224–233.
- Blake J.T., and Carter, M.W. (1997a). Surgical process scheduling: a structured review. *Journal of Health systems (I.I.E)*, 5(3), 17-30.
- Blake J.T., and Carter M.W. (1997b). Surgical process management: a conceptual framework, *Surgical Services Management*, 3(9), p. 31-37.
- Bouguerra, A., Sauvey, C., Sauer, N. (2015). Mathematical model for maximising operating rooms utilization. *International Federation of Automatic Control*, 48-3 (2015). P. 118-123.
- Bouzidi-Hassini, S., Benbouzid-Sitayeb, F., Marmier, F., Rabahi, M. (2015). *Computers and Industrial Engineering* 90 (2015) 197-211.

- Cassagne, R., Gourgand, M., and Rodier, S. (2010). Un outil d'aide au dimensionnement, à la planification et à la visualisation d'un programme opératoire, *Logistique et Management* (à paraître en 2010).
- Chaabane, S., Guinet, A., and Kharraja, S. (2008). Planification et ordonnancement de blocs opératoires suivant les modèles Open Scheduling et Block Scheduling. GDR-MACS, 19-21 Novembre 2008.
- Chaabane, S., Meskens, N., Guinet, A., and Laurent Marius. (2007). Comparaison des performances des politiques de programmation opératoire. *Logistique et management*, Vol. 15-N°1.
- Coffman Jr, E. G., Garey, M. R., and Johnson, D. S. (1996). Approximation algorithms for bin packing : A survey. *In Approximation algorithms for NP-hard problems*, PWS Publishing Co, p. 46–93.
- Combes, C. (1994). *Un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, France.
- Corcoran, A. L., Wainwright, R. L., (1995). Using LibGA to Develop Genetic Algorithms for Solving Combinatorial Optimization problems. *The Application handbook of Genetic Algorithms 1*, p. 143-172.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., and Rivest R. L. (1990). Introduction to algorithms, chapitre 16: Greedy Algorithms, MIT Press and McGraw-Hill, 1st edition.
- Cui, W. W., Lu, Z., Pan, E. (2014). Integrated production scheduling and maintenance policy for robustness in a single machine. *Computers and Operations Research* 47 (2014) 81-91.
- D.H.O.S. (2006). L'hospitalisation et l'organisation des soins en France. *Enjeux et perspectives - Edition 2006*. Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins - Ministère de la Santé et des Solidarités, France.
- Deroussi, L. (2002). *Heuristiques, métaheuristiques et systèmes de voisinage: Application à des problèmes théoriques et industriels de type TSP et ordonnancement*. Thèse de Doctorat. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.
- Deroussi, L., Grangeon, N., and Norre, S. (2014). Techniques d'hybridation à base de métaheuristiques pour optimiser des systèmes logistiques. In Siarry, P., editor. *Métaheuristiques : Recuits simulé, recherche avec tabous, recherche à voisinages variables, méthodes GRASP, algorithmes évolutionnaires, fourmis artificielles, essais particuliers et autres méthodes d'optimisation*. Editions Eyrolles.
- DeVore, R. A. et Temlyakov, V. N. (1996). Some remarks on greedy algorithms. *Advances in Computational Mathematics*, vol. 5, n°. 1, p. 173-187.

- Dreo, J., Petrowski, A., Siarry, P. (2014). *Métaheuristiques pour l'optimisation difficile*. Editions Eyrolles, 481 p ; 2014.
- Benbouzid-Sitayeb, F., Varnier, C., Zerhouni, N. (2006). Résolution du problème d'ordonnancement conjoint production/maintenance par colonies de fourmis. *Hal.archives-ouvertes.fr/hal-00327506*.
- Fei, H., Chu C., Artiba A., and Meskens N. (2005b). Planification des interventions sur une semaine dans un bloc opératoire, *6ème congrès de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF'05)*, Billaut J.C., Esswein C. (Ed.), p. 359-374, 14-16 Février, France, 2005.
- Fei, H., Chu C., Meskens N., and Artiba A. (2005a). Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-bound approach. *Proceeding of IESM'05*, p. 756-765, Marocco, 2005.
- 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) et Université de Technologie de Troyes (France).
- Fei, H., Chu, C., Meskens, N., and Artiba, A. (2008). Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach, *International Journal of Production Economics* 112, p. 96-108.
- Fei, H., Meskens, N., and Chu C. (2010). A planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy. *Computers & Industrial Engineering* 58 (2010) p. 221–230.
- Fitouhi, M. C. et Nourelfath, M. (2012). Integrating noncyclical preventive maintenance scheduling and production planning for a single machine. *Int. J. Production Economics* 136 (2012) 344-351.
- Fleury, G. (1993). *Méthodes stochastiques et déterministes pour les problèmes NP-difficiles*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II.
- Fleury, G., Lacomme, P., and Tanguy, Alain. (2006). Simulation à événements discrets. p. 228 – 231. Editions Eurolles, Paris, France.
- Garey, M.R., and Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*, W.H. Freeman and Company, New York.
- Gayraud, F. (2015). *Problème de tournées de véhicules avec contraintes de synchronisation dans le cadre de structures de maintien à domicile : Formalisation mathématique et hybridation à base de métaheuristique*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

- Géhan, M. (2014). *Contribution à l'intégration des processus de planification de la production et de la maintenance en contexte incertain*. Thèse de Doctorat, Université de Nantes, France.
- Glpk (2013) GNU Programming Kit : Reference Manual Version 4.48. Draft Edition. <http://gnuwin32.sourceforge.net/packages/glpk.htm>
- Goujon, J.Y. (1997). *Un environnement de modélisation multi-agents pour la spécification et l'évaluation des performances des systèmes industriels de production*. Thèse de Doctorat. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Gourgand, M., Kellert, P. (1991). Conception d'un environnement de modélisation de systèmes de production. *Actes du 3^{ème} congrès international de génie industriel*, Tours, p. 20-22 Mars 1992.
- Gourgand, M., Pensi, J., and Tanguy, A. (2014a). Programming integrated surgical operations and preventive maintenance activities. *APMS 2014 International Conference, September 20-24, Ajaccio, France*.
- Gourgand, M., Pensi, J., and Tanguy, A. (2014b). Programmation intégrée des interventions chirurgicales et des activités de maintenance préventive. *10^{ème} Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation- MOSIM'14 – 5 au 7 novembre 2014 – Nancy –France « de l'économie linéaire à l'économie circulaire»*.
- Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K. et Kan, A. (1979). Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling : a survey, *Annals of discrete Mathematics* 5 : 287 – 326.
- Grangeon, N. (2001). *Métaheuristiques et Modèles d'Evaluation pour le Problème du Flow-Shop Hybride Hiérarchisé : Contexte Déterministe et Contexte Stochastique*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal- Clermont-Ferrand II, France.
- Guinet, A., and Chaabane, S. (2003). Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics* 85, p. 69-81.
- Hajek, B. (1988). Cooling Schedules for optimal annealing, *Mathematics of operations research* 13: 311-329.
- Hamilton, D.M., and Breslawski, S. (1994). Operating room scheduling. Factors to consider. *Association of Operating Room Nurse (AORN) Journal*, 59(3), p. 665-680.
- Hammami, S., Ladet, P., Atidel, B. H. A., and Ruiz, A. (2007). Une programmation opératoire robuste, *Logistique et Management* 15(1), p. 95-111.
- Hans, E., Wullink, G., Van Houdenhoven, M., and Kazemier, G. (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 établissements de soins de santé*. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Catholiques de Mons, Belgique.
- Hao, J., Galinier, P. et Habib, M. (1999). Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes. *Revue d'Intelligence Artificielle* 13(2) : 283-324.
- 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., Hadj Alouane A.B., and Ladet P. (2006). Operating room scheduling, *International Journal of Productions Economics*, 99, 52-62, 2006.
- Johnson, D. S. (1973). *Near-optimal bin packing algorithms*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, (USA).
- Johnson, D. S. (1974). Fast algorithms for bin packing. *Journal of Computer and System Sciences*, 8(3), p. 272–314.
- Kaabi-Harrath, J. (2004). Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance dans les systems de production. *Thèse de Doctorat*, Université de Franche-Comte, France.
- Kamdoum, A. (1994). Planification sanitaire et ajustement structurel au Cameroun. Centre français sur la population et le développement. *Les dossiers du CEPED*. Paris, décembre 1994.
- Kharraja, S., 2003. *Outils d'aide à la planification et l'ordonnancement des plateaux médicotchniques*. Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, France.
- Kharraja, S., Hammami, S., Abbou, R., Marcon, E., and Ladet, P. (2004). Plan Directeur d'Allocation des Plages Horaires. In *Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH)*: 9-11 septembre 2004. Mons, Belgique.
- Kharraja S., F. Albert, and S. Chaabane, 2006. Blocs opératoires publics : application de la stratégie block scheduling. *Modélisation et Simulation (MOSIM' 2006)*, Rabat, Maroc.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., and Vecchi, K. P. (1983). *Optimization by simulated annealing. science*. 220, p. 671–680.
- Kirkpatrick, S. (1984). Optimization by simulated annealing: Quantitative studies. *Journal of statistical physics*, 34(5-6): 975-986.
- Klement, N. (2014). *Planification et affectation de ressources dans les réseaux de soin : Analogie avec le problème du bin packing - Proposition de méthodes approchées*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.
- Lacomme, P. (1998). *Optimisation des systèmes de production : méthodes stochastiques et approche multi-agents*. Thèse de Doctorat. Université, Clermont-Ferrand.

- Lu, Z., Cui, W., Han, X. (2015). Integrated production and preventive maintenance scheduling for a single machine with failure uncertainty. *Computers and Industrial Engineering* 80 (2015) 236-244.
- Lundy, M., et Mees, A. (1986). Convergence of an annealing algorithm, *Math. Prog.* 34 : 111-124.
- Malhorta V. (2001). Nuts and bolts of OR management, 52th Annual Refresher cours lectures, *Clinical updates and basic science reviews*, during the Annual Meeting of the American Society of Anesthesiologists, 13-17, 2001.
- Meskens, N., and Riane, F. (2007). Les Hôpitaux face à des défis majeurs. *La Libre Entreprise* 28/07/2007: 7.
- Metropolis, N., Rosenbluth, M. N. and Teller, H.s A. (1953). Equation of state calculation by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, 21(6), p. 1087-1092.
- Molina-Pariente, J. M., Fernandez-Viagas, V., Framinan, J. M. (2015). Integrated operating room planning and scheduling problem with assistant surgeon dependent surgery durations. *Computers and industrial Engineering* 82 (2015) 8-20.
- Norre, S. (2005). *Heuristiques et métaheuristiques pour la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire dans les systèmes de production*. Mémoire HDR, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Papadimitriou, C.H., and Steiglitz, K. (1982). *Combinatorial optimization – algorithms and complexity*. Prentice Hall, 1982.
- Patterson, P. (1996). What makes a well-oiled scheduling system, *Journal of OR Manager*, 12(9), p. 19-23.
- Raidl, G. R. (2006). A unified view on hybrid metaheuristics. In *Hybrid Metaheuristics*, p. 1–12. Springer.
- Razmi, J., Yousefi, M. S., and Barati, M. (2015). A stochastic model for operating room unique equipment planning under uncertainty. *IFAC-PapersOnLine* 48-3 (2015) p. 1796-1801.
- Reeves, C., (1993). Hybrid Genetic Algorithms for Bin-Packing and Related Problems. *Annals of Operations Research* 63, p. 371-396.
- Revel M., Nicolas G., Bara C., Moreau M.O, Nicolle D., Duret M. (2003). Synthèse des travaux du groupe sur l'implantation et l'organisation des plateaux techniques, Ministère de la santé, de la famille, et des personnes handicapées, 35p, 2003.
- Rodier, S. (2010). *Une tentative d'unification et de résolution des problèmes de modélisation et d'optimisation dans les systèmes hospitaliers. Application au nouvel hôpital Estaing*. Thèse de Doctorat, Université Clermont-Ferrand II, France.

- Roland, B., Di Martinelly, C., Riane, F., and Y. Pochet (2010) : Scheduling and operating theatre under human resource constraints, *Computers and industrial Engineering*, 58(2), 2010, p. 212-220.
- Romeo, F. et Sangiovanni-Vincentelli, A. (1985). Probabilistic hill climbing algorithms : Properties and applications, *Proc. 1985 Chapel Hill Conference on VLSI* p. 393-417.
- Sarramia, D. (2002). *ASCI mi : une méthodologie de modélisation multiple et incrémentielle. Application aux systèmes de trafic urbain*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.
- Scholl, A., (1999). *Balancing and Sequencing of Assembly Lines*, Physica-Verlag Heidelberg, New York.
- Sotrakul, N., Nachtmann, H. L., Cassady, C. R. (2005). Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine. *Computers in industry* 56 (2005) 161-168.
- Talbi, E.-G. (2002). A taxonomy of hybrid metaheuristics. *Journal of heuristics*, 8(5), p. 541–564.
- Touat, M., Bouzidi-Hassini, S., Benbouzid-Sitayeb, F. (2014). Une approche proactive/reactive pour l'ordonnancement conjoint de production et de maintenance avec contraintes de ressources humaines. *10^{ème} Conférence francophone de modélisation, Optimisation et Simulation-MOSIM'14* – 5 au 7 novembre 2014 – Nancy – France.
- Trilling, L. (2006). *Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier*. Thèse de Doctorat, INSA de LYON, France.

Annexes

Annexe 1 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la première instance avec OSMF pour les horizons 1 et 2

Jour 1						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	46	50	8	
Salle	2	1	61			
		2	21	37		
Salle	3	1	16	1	35	
Salle	4	1	54	56	4	17

Tableau 1 : Planning opératoire obtenu par le couplage $DS - FF$ OSMF avec la 1^{ère} instance pour un horizon d'un jour

Jour 1						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	20	72	37	
Salle	2	1	26			
		2	38	45		
Salle	3	1	64	4	3	
Salle	4	1	59	75	36	8

Tableau 2 : Planning opératoire obtenu par le couplage $RS - FF$ OSMF avec la 1^{ère} instance pour un horizon d'un jour

Jour 1						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	22	74	67	
Salle	2	1	69			
		2	38	4		
Salle	3	1	75	76	43	
Salle	4	1	19	21	25	56

Tableau 3 : Planning opératoire obtenu par le couplage $KA - FF$ OSMF avec la 1^{ère} instance pour un horizon d'un jour

JOUR 2

Jour 1						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	46	50	8	
Salle	2	1	61			
		2	21	37		
Salle	3	1	16	1	35	
Salle	4	1	54	56	4	17
Jour 2						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	8	54	36	66
Salle	2	1	14	80	30	
Salle	3	1	69	22	77	
Salle	4	1	35	34		
		2	19			

Tableau 4 : Planning opératoire obtenu par le couplage *DS – FF* OSMF avec la 1^{ère} instance pour un horizon de 2 jours

Jour 1						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	20	72	37	
Salle	2	1	26			
		2	38	45		
Salle	3	1	64	4	3	
Salle	4	1	59	75	36	8
Jour 2						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	49	73	66	41
Salle	2	1	51	11	60	
Salle	3	1	22	52	71	
Salle	4	1	37	70		
		2	77			

Tableau 5 : Planning opératoire obtenu par le couplage *RS – FF* OSMF avec la 1^{ère} instance pour un horizon de 2 jours

Jour 1						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	22	74	67	
Salle	2	1	69			
		2	38	4		
Salle	3	1	75	76	43	
Salle	4	1	19	21	25	56
Jour 2						
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées			
Salle	1	1	18	56	70	49
Salle	2	1	1	46	76	
Salle	3	1	16	38	45	
Salle	4	1	8	54		
		2	73			

Tableau 6 : Planning opératoire obtenu par le couplage *KA – FF* OSMF avec la 1^{ère} instance pour un horizon de 2 jours

Annexe 2 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la deuxième instance avec OSMF pour les horizons 1 et 2

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	87	45	96	70	12
Salle	2	1	78	43			
		2	49	56	4		
Salle	3	1	20	6	25	54	8
Salle	4	1	37	18	21	59	52

Tableau 7 : Planning opératoire obtenu par le couplage *DS – FF* OSMF avec la 2^{ème} instance pour un horizon d'un jour

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	25	88	59	32	4
Salle	2	1	57	12			
		2	45	79	26		
Salle	3	1	37	24	30	6	50
Salle	4	1	33	49	70	34	38

Tableau 8 : Planning opératoire obtenu par le couplage *RS – FF* OSMF avec la 2^{ème} instance pour un horizon d'un jour

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	4	12	57	36	26
Salle	2	1	38	8			
		2	49	60			
Salle	3	1	50	75	24	18	70
Salle	4	1	88	20	25	15	78

Tableau 9 : Planning opératoire obtenu par le couplage *KA – FF* OSMF avec la 2^{ème} instance pour un horizon d'un jour

JOUR 2							
Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	87	45	96	70	12
Salle	2	1	78	43			
		2	49	56	4		
Salle	3	1	20	6	25	54	8
Salle	4	1	37	18	21	59	52
Jour 2							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	33	42	24	70	60
Salle	2	1	11	50	100	30	
Salle	3	1	46	95	47	36	
Salle	4	1	78	38	12		
		2	6	25			

Tableau 10 : Planning opératoire obtenu par le couplage *DS – FF* OSMF avec la 2^{ème} instance pour un horizon de 2 jours

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	25	88	59	32	4
Salle	2	1	57	12			
		2	45	79	26		
Salle	3	1	37	24	30	6	50
Salle	4	1	33	49	70	34	38
Jour 2							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	58	35	59	98	
Salle	2	1	36	20	33	99	78
Salle	3	1	87	50	15	83	57
Salle	4	1	72	63			
		2	38	56			

Tableau 11 : Planning opératoire obtenu par le couplage *RS – FF* OSMF avec la 2^{ème} instance pour un horizon de 2 jours

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	4	12	57	36	26
Salle	2	1	38	8			
		2	49	60			
Salle	3	1	50	75	24	18	70
Salle	4	1	88	20	25	15	78
Jour 2							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	70	21	87	37	28
Salle	2	1	79	9	57	20	25
Salle	3	1	59	6	30	43	4
Salle	4	1	82	56	26		
		2	88	72			

Tableau 12 : Planning opératoire obtenu par le couplage $KA - FF$ OSMF avec la 2^{ème} instance pour un horizon de 2 jours

Annexe 3 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la troisième instance avec OSMF pour les horizons 1 et 2

JOUR 1

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	12	45	50	25	4
Salle	2	1	59	56			
		2	52	15			
Salle	3	1	9	99	49	36	75
Salle	4	1	57	20	72	88	78

Tableau 13 : Planning opératoire obtenu par le couplage $KA - FF$ OSMF avec la 3^{ème} instance pour un horizon d'un jour

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	60	49	45	12	54
Salle	2	1	4	33			
		2	72	8	26		
Salle	3	1	78	30	93	56	36
Salle	4	1	29	15	18	44	50

Tableau 14 : Planning opératoire obtenu par le couplage $DS - FF$ OSMF avec la 3^{ème} instance pour un horizon d'un jour

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	56	34	78	57	88
Salle	2	1	69	36			
		2	30	26	20		
Salle	3	1	52	4	24	49	99
Salle	4	1	33	80	25	83	12

Tableau 15 : Planning opératoire obtenu par le couplage *RS – FF* OSMF avec la 3^{ème} instance pour un horizon d'un jour

JOUR 2

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	60	49	45	12	54
Salle	2	1	4	33			
		2	72	8	26		
Salle	3	1	78	30	93	56	36
Salle	4	1	29	15	18	44	50
Jour 2							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	79	78	96	3	12
Salle	2	1	23	55	19	45	
Salle	3	1	72	27	53	8	
Salle	4	1	30	6			
		2	54	20			

Tableau 16 : Planning opératoire obtenu par le couplage *DS – FF* OSMF avec la 3^{ème} instance pour un horizon de 2 jours

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	56	34	78	57	88
Salle	2	1	69	36			
		2	30	26	20		
Salle	3	1	52	4	24	49	99
Salle	4	1	33	80	25	83	12
Jour 2							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	90	57	28	49	45
Salle	2	1	44	26	6	30	
Salle	3	1	20	60	35	46	25
Salle	4	1	96	74			
		2	24	36			

Tableau 17 : Planning opératoire obtenu par le couplage *RS – FF* OSMF avec la 3^{ème} instance pour un horizon de 2 jours

Jour 1							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	12	45	50	25	4
Salle	2	1	59	56			
		2	52	15			
Salle	3	1	9	99	49	36	75
Salle	4	1	57	20	72	88	78
Jour 2							
	N° Salle	N° Période	Les interventions chirurgicales placées				
Salle	1	1	38	60	19	1	82
Salle	2	1	69	33	8	78	25
Salle	3	1	28	6	72	99	50
Salle	4	1	52	20	36		
		2	49	88			

Tableau 18 : Planning opératoire obtenu par le couplage *KA – FF* OSMF avec la 3^{ème} instance pour un horizon de 2 jours

Annexe 4 – Mise en œuvre du couplage descente stochastique – First Fit sur la première instance avec BSMF pour les horizons 1 et 2

BSMF - DS

Jour	Salle	Plage	IC	Chirurgien	Chirurgien traitant
Plage 1					
1	1	1	56	2	2
Plage 2					
1	1	2	30	3	3
Plage 3					
1	1	3	50	4	4
Plage 4					
1	2	4	3	8	8
Plage 5					
1	2	5	66	7	7
Plage 6					
1	2	6	46	8	8
Plage 7					
1	3	7	41	7	7
Plage 8					
1	3	8	27	9	9
1	3	8	5	9	9
Plage 10					
1	4	10	21	5	5

Tableau 19 : Planning opératoire obtenu avec le couplage *DS – FF* BSMF pour l’horizon 1 de la première instance

Jour	Salle	Plage	IC	Chirurgien	Chirurgien traitant
Plage 1					
1	1	1	56	2	2
Plage 2					
1	1	2	59	3	3
Plage 3					
1	1	3	57	4	4
Plage 4					
1	2	4	46	8	8
Plage 5					
1	2	5	66	7	7
Plage 7					
1	3	7	41	7	7
Plage 8					
1	3	8	27	9	9
1	3	8	68	9	9
Plage 10					
1	4	10	21	5	5

Tableau 20 : Planning opératoire obtenu avec le couplage *RS – FF* BSMF pour l’horizon 1 de la première instance

Jour	Salle	Plage	IC	Chirurgien	Chirurgien traitant
Plage 1					
1	1	1	56	2	2
Plage 2					
1	1	2	30	3	3
Plage 3					
1	1	3	50	4	4
Plage 4					
1	2	4	67	8	8
Plage 5					
1	2	5	66	7	7
Plage 6					
1	2	6	46	8	8
Plage 7					
1	3	7	41	7	7
Plage 8					
1	3	8	27	9	9
1	3	8	5	9	9
Plage 10					
1	4	10	21	5	5

Tableau 21 : Planning opératoire obtenu avec le couplage *KA – FF* BSMF pour l’horizon 1 de la première instance

Jour	Salle	Plage	IC	Chirurgien	Chirurgien traitant
Plage 1					
1	1	1	56	2	2
Plage 2					
1	1	2	30	3	3
Plage 3					
1	1	3	50	4	4
Plage 4					
1	2	4	3	8	8
Plage 5					
1	2	5	66	7	7
Plage 6					
1	2	6	46	8	8
Plage 7					
1	3	7	41	7	7
Plage 8					
1	3	8	27	9	9
1	3	8	5	9	9
Plage 10					
1	4	10	21	5	5
2	1	13	12	1	1
2	1	13	69	1	1
Plage 14					
2	1	14	36	4	4
Plage 15					
2	1	15	37	3	3
2	3	20	62	11	11
2	3	20	80	11	11
2	4	22	55	10	10
2	4	24	70	6	6

Tableau 22 : Planning opératoire obtenu avec le couplage $DS - FF$ BSMF pour l'horizon 2 de la première instance

Jour	Salle	Plage	IC	Chirurgien	Chirurgien traitant
Plage 1					
1	1	1	56	2	2
Plage 2					
1	1	2	59	3	3
Plage 3					
1	1	3	57	4	4
Plage 4					
1	2	4	46	8	8
Plage 5					
1	2	5	66	7	7
Plage 7					
1	3	7	41	7	7
Plage 8					
1	3	8	27	9	9
1	3	8	68	9	9
Plage 10					
1	4	10	21	5	5
Plage 13					
2	1	13	35	1	1
2	1	13	69	1	1
Plage 14					
2	1	14	78	4	4
Plage 15					
2	1	15	30	3	3
Plage 20					
2	3	20	80	11	11
2	3	20	62	11	11
Plage 22					
2	4	22	34	10	10
Plage 24					
2	4	24	70	6	6

Tableau 23 : Planning opératoire obtenu avec le couplage *RS – FF* BSMF pour l’horizon 2 de la première instance

Jour	Salle	Plage	IC	Chirurgien	Chirurgien traitant
Plage 1					
1	1	1	56	2	2
Plage 2					
1	1	2	30	3	3
Plage 3					
1	1	3	50	4	4
Plage 4					
1	2	4	67	8	8
Plage 5					
1	2	5	66	7	7
Plage 6					
1	2	6	46	8	8
Plage 7					
1	3	7	41	7	7
Plage 8					
1	3	8	27	9	9
1	3	8	5	9	9
Plage 10					
1	4	10	21	5	5
Plage 13					
2	1	13	12	1	1
2	1	13	69	1	1
Plage 14					
2	1	14	9	4	4
Plage 15					
2	1	15	37	3	3
Plage 20					
2	3	20	62	11	11
2	3	20	80	11	11
Plage 22					
2	4	22	55	10	10
Plage 24					
2	4	24	70	6	6

Tableau 24 : Planning opératoire obtenu avec le couplage $KA - FF$ BSMF pour l'horizon 2 de la première instance

Annexe 5 – Comparaison entre les deux maintenances MF et MV des instances 2 et 3 pour OS

Horizon	Maintenance fixée MF			Maintenance variable MV		
	DS	RS	KA	DS	RS	KA
	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP
1	80	80	79	80	80	79
2	64	64	60	64	64	61
3	50	50	46	47	47	46
4	36	36	32	33	32	32
5	22	22	19	18	18	19

Tableau 25 : Comparaison du critère *NICNP* de la 2^{ème} instance obtenu par les couplages métaheuristiques – *FF OSMF* et *FF OSMV* entre MF et MV

Horizon	Maintenance fixée MF			Maintenance variable MV		
	DS	RS	KA	DS	RS	KA
	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP	NICNP
1	80	80	79	80	80	79
2	64	64	60	64	63	61
3	50	50	45	47	47	45
4	35	35	31	33	32	31
5	21	21	18	18	18	18

Tableau 26 : Comparaison du critère *NICNP* de la 3^{ème} instance obtenu par les couplages métaheuristiques – *FF OSMF* et *FF OSMV* entre MF et MV

Annexe 6 – Les paramètres à régler de l’algorithme du recuit simulé

Les deux paramètres à régler pour l’algorithme du recuit simulé sont la température initiale T_0 et le facteur de décroissance α . La température initiale est choisie de telle façon que toutes les transitions sont autorisées au début, c’est-à-dire $e^{-\frac{H(y)-H(x)}{T_0}} \approx 1, \forall (x, y)$. (Aarts and van Laarhoven, 1987) proposent un algorithme qui calcule la température initiale, donnée par l’algorithme 4.12. (Kirkpatrick, 1984) donne L_{T_0} égale au nombre de variables du problème étudié. L’algorithme de la détermination de la température T_0 est donné par l’algorithme 4.5.

Algorithme 4.5 : Détermination de la température T_0

x : une solution quelconque

L_{T_0} : une longueur initiale de palier

T_0 : une température initiale

$\Delta H := 0$

Pour tous les l de 1 à L_{T_0}

Choisir aléatoirement et uniformément y dans le voisinage de $V(x)$

$\Delta H := \Delta H + \max(0; H(y) - H(x))$

$x := y$

Fin pour

$\overline{\Delta H^{(+)}} := \frac{\Delta H}{L_{T_0}}$

$x_0 := 0.8$

$T_0 := \frac{\overline{\Delta H^{(+)}}}{\ln(x_0^{-1})}$

La formule utilisée pour calculer le facteur de décroissance α est définie par l'équation (4.3). Elle permet une décroissance lente de la température. T_a est la dernière température calculée dans l'algorithme du recuit simulé, proche de zéro.

$$\alpha = \left(\frac{T_a}{T_0} \right)^{\frac{1}{2 * IterMax}} \quad (4.3)$$

Annexe 7 – Le paramètre à régler de l'algorithme du kangourou

Le paramètre à régler dans l'algorithme du kangourou est le palier A . La formule utilisée pour calculer A est donnée par l'équation (4.4) (Fleury, 1993).

$$A \geq card(V) \cdot \ln(2) \quad (4.4)$$

Dans le cas de notre système de voisinage, $card(V) = N.M$ donc le calcul de A est donné par l'équation (4.5).

$$A \geq N.M \cdot \ln(2) \quad (4.5)$$

Le système de voisinage W utilisé consiste en l'application huit fois du système de voisinage V .