



HAL
open science

ORDONNANCEMENT DES BLOCS OPERATOIRES

Nour-El-Houda Saadani, Alain Guinet, Sondès Chaabane

► **To cite this version:**

Nour-El-Houda Saadani, Alain Guinet, Sondès Chaabane. ORDONNANCEMENT DES BLOCS OPERATOIRES. 6e Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation “ Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes: Défis et Opportunités ”, Apr 2006, Rabat, Maroc. pp.1-7. hal-00379642

HAL Id: hal-00379642

<https://hal.science/hal-00379642>

Submitted on 29 Apr 2009

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.

ORDONNANCEMENT DES BLOCS OPERATOIRES

N.H. SAADANI

Faculté des Sciences de Tunis,
Laboratoire LIP2.

Campus Universitaire, 2092
Manar 2, Tunisie.

Houda.saadani@eudoramail.com

A.GUINET

Département Génie Industriel,
Laboratoire PRISMa
INSA de Lyon, bât Jules Verne,
19 avenue Jean Capelle
69621 Villeurbanne cedex,
FRANCE

guinet@gprhp.insa-lyon.fr

S. CHAABANE

MAAD, FUCAM Chaussée de
Binche, 151

sondes.chaabane@fucam.ac.be

RESUME : *L'ordonnancement définit la dernière étape du processus de gestion du bloc opératoire. A partir du planning du bloc, il détermine l'ordre de passage des interventions dans chaque salle d'opérations. Il s'apparente à un ordonnancement d'ateliers. Le problème étudié est NP-difficile. Dans ce papier, nous proposons une nouvelle heuristique en $O(N^2)$. Les résultats obtenus par notre heuristique sont comparés à des développements précédents (Chaabane et al., 2004). La nouvelle heuristique semble être plus performante particulièrement dans les cas de nombres de travaux importants (dans plus de 79.77% des cas).*

MOTS-CLES : *ordonnancement, flow-shop hybride, heuristique, bloc opératoire, règles d'ordonnancement.*

1. INTRODUCTION

Le bloc opératoire est le point de convergence de nombreuses activités de l'hôpital. Il est en relation directe ou indirecte avec la majorité des services d'hospitalisation et des spécialités médicales. Il constitue le secteur le plus important et le plus coûteux dans la majorité des hôpitaux. En effet, il représente plus de 10% du budget de l'hôpital (Macario et al., 1995) (Macario et al., 1997) et définit par ailleurs le lieu de référence pour la production des points ISA (indice synthétique d'activité : unité d'œuvre composite permettant de mesurer l'activité des unités de soins de courte durée Médecine, Chirurgie, Obstétrique des établissements hospitaliers). A ce poids économique s'ajoute une complexité de fonctionnement due à la diversité en nombre et en type des ressources humaines, des ressources matérielles et aux contraintes mises en jeu. Historiquement, la culture des blocs opératoires est essentiellement médicale, orientée sur la pratique de soins et centrée autour de l'organisation chirurgicale. Les blocs opératoires doivent maintenant produire des soins de qualité en maîtrisant les coûts et en minimisant les délais. Ces structures sont ainsi confrontées au fameux triangle : coût, qualité et délais bien connus dans les systèmes industriels. Le processus opératoire d'un patient se décompose en trois étapes : la phase préopératoire, la phase per-opératoire et la phase postopératoire. La phase préopératoire correspond à la prise en charge du patient jusqu'à la veille de l'intervention, c'est une phase de consultations

(chirurgicales et anesthésiques) et d'exams. La phase per-opératoire définit la période de l'intervention qui se déroule dans le bloc opératoire. La phase postopératoire recouvre l'ensemble des soins à l'issue de l'intervention.

En phase préopératoire à l'issue des consultations chirurgicales et anesthésiques, une date d'hospitalisation doit être proposée au patient en tenant compte de ses disponibilités, des disponibilités du chirurgien, des possibilités du bloc opératoire ainsi que du service d'hospitalisation (disponibilité des lits du service de soins postopératoires). Cette activité décisionnelle est nommée programmation des interventions.

En phase per-opératoire les décisions à prendre relèvent de l'organisation opérationnelle du bloc. Le personnel doit être présent en nombre suffisant quand une salle est ouverte afin de constituer l'équipe requise. Les interventions doivent être affectées à une salle d'opérations, et ordonnées par salle d'opérations afin que la bonne logistique (brancardiers, dispositifs médicaux stériles,...) autour de la salle d'opérations soit disponible au bon endroit au bon moment et pour le bon patient.

L'aspect humain de l'activité des blocs opératoires constitue une des principales difficultés rencontrées. La gestion prédictive du bloc opératoire a pour but de créer un bon environnement de travail pour les acteurs du bloc opératoire, et, de répondre à leurs besoins en terme d'organisation et d'amélioration des conditions de travail. Les acteurs de bloc opératoire, ayant une

fonction et une culture purement médicales ne sont pas préparés ou sont peu préparés à de telles évolutions culturelles. Pour réussir l'implantation d'une gestion prédictive des blocs opératoires, il faut montrer l'intérêt de cette gestion dans leurs pratiques quotidiennes. La clé de réussite dans ce cas est le facteur humain (Courtois et al. 2000) et plus précisément sa participation et sa motivation. Une deuxième difficulté, de type technique, dans le processus opératoire est la rareté des données. En effet, dans le cadre de la résolution d'un problème de gestion de production, le processus opératoire est considéré comme étant un processus de production. Un certain nombre de données sur son fonctionnement (comme par exemple la durée des interventions, la durée de réveil,...) et ses potentialités (nombre de salles d'opérations, nombre de lits de réveil, nombre d'heures supplémentaires possibles,...) sont donc nécessaires. Le manque de données est la principale difficulté pour l'élaboration de modèles mathématiques (Guinet, 2001) et l'application d'outils tels que la simulation (Kharraja et al., 2002).

Quatre principaux problèmes de gestion de production peuvent donc être identifiés en présence de données et dans le cadre d'une objectivation de prises de décisions collégiales : programmation des interventions, définition des plages horaires d'ouverture des salles d'opérations, planification du bloc opératoire et ordonnancement des salles opératoires.

La programmation opératoire est le moyen efficace pour la gestion des blocs opératoires (Kharraja, 2003). Elle consiste à construire un planning prévisionnel des interventions chirurgicales à réaliser durant une période à partir de demandes des patients. Dans le même ordre d'idée, Smolski (Smolski, 1999) définit la programmation opératoire comme la clé de voûte de toute l'organisation des blocs opératoire ; elle rythme l'activité des acteurs du bloc mais aussi des services d'hospitalisation de chirurgie, des services de réanimation ou de soins continus postopératoires, de la pharmacie, de la radiologie,... A la fin de cette étape, on obtient un planning prévisionnel des interventions. A partir du planning et de la disponibilité du personnel, on définit des durées d'ouverture des salles d'opérations du bloc. C'est la deuxième étape de gestion, qui permet d'obtenir les plages d'ouverture des salles. Les résultats trouvés conduisent à la troisième étape qui est la planification du bloc. Le planning obtenu devra être validé par les chirurgiens, les médecins anesthésistes-réanimateurs et le responsable du bloc opératoire. L'ordonnancement définit la dernière étape de gestion. Il consiste à déterminer l'ordre de passage des interventions dans chaque salle d'opérations.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'ordonnancement des opérations dans les salles opératoires. Le plan de cet article sera donc le suivant. En section 2, nous commençons par présenter les principaux travaux d'optimisation effectués dans le cadre de la programmation ou de la planification opératoire d'une manière générale et de l'ordonnancement des opérations d'une manière particulière. Ensuite en section 3, nous définissons la complexité du problème étudié et nous proposons dans la section 4 une approche de

résolution en $O(N^2)$. Dans la section 5, l'heuristique proposée est comparée à l'heuristique jugée comme la meilleure dans (Chaabane, 2004). Nous achevons par une conclusion et des perspectives.

2. TRAVAUX ANTERIEURS

Au cours des dernières années, de multiples tentatives d'importation et d'adaptation d'outils et de méthodes de gestion industrielle ont été effectuées pour la gestion des hôpitaux et de façon plus ciblée pour la gestion des blocs opératoires (Chaabane et al., 2003). Dexter et al. (Dexter et al., 1999) ont proposé pour planifier les interventions opératoires au sein d'un bloc multidisciplinaire, l'utilisation de méthodes de type Bin-Packing et des contraintes floues afin de maximiser le taux d'occupation des salles. Ces techniques utilisent des méthodes de recherche de solution fondées sur une approche progressive, prenant en compte des durées d'intervention incertaines. A l'opposé, des techniques utilisant un modèle linéaire ont été proposées comme outil de programmation (Guinet et Chaabane, 2003). Les variables prises en compte sont des éléments certains comme les heures d'ouverture du bloc, les heures supplémentaires, les dates d'hospitalisation et d'intervention. L'objectif étudié est la minimisation des coûts variables d'exploitation des blocs opératoires. Les outils utilisés sont basés sur des heuristiques issues de la méthode hongroise.

Marcon et al. (Marcon et al., 2001) ont proposé une modélisation fondée sur la méthode de sac à dos multiple dans le cas où les chirurgiens sont pré-affectés à une salle d'opérations et une résolution par satisfaction de contraintes pour une affectation libre des chirurgiens (nommés chirurgiens nomades) aux salles.

Jebali et al. (Jebali et al., 2003) ont modélisé le problème d'affectation et le problème d'ordonnancement des ressources hospitalières sous forme de programmes linéaires mixtes. Ils ont élaboré des stratégies de choix du modèle d'ordonnancement afin de permettre au responsable du bloc de sélectionner celles qui conviennent le mieux à son attente en terme de construction de programme opératoire.

La technique de simulation de flux a été utilisée pour le choix d'une programmation centrée sur la salle d'opérations soit privilégiant la minimisation du coût d'occupation de la salle d'opérations ou soit celui prenant en compte les salles d'opérations et la salle de réveil (Macario et al., 1999) ou salles de soins post-interventionnelles. De la même façon, la simulation a été utilisée pour évaluer l'impact du dimensionnement de certaines catégories de personnel sur l'organisation d'un bloc opératoire et d'une salle de réveil (Marcon et Kharraja, 2002) (Marcon et al., 2003) (Zhou et Dexter, 1998).

Hsu VN et al. (Hsu et al., 2003) ont proposé un nouvel algorithme d'ordonnancement qui minimise le temps total de réalisation des interventions au bloc et dans la salle des soins post-interventionnels (SSPI) dit de réveil tout en minimisant le nombre de postes ouverts dans cette salle. Cet algorithme utilise une méta-heuristique de type TABOU. Les résultats proposés par les auteurs

sont intéressants du point de vue théorique, mais leur applicabilité à des problèmes d'ordonnancement sur des blocs opératoires de grande taille n'est pas prouvée pour trois raisons. La première est qu'ils n'ont pas réalisé de résolution d'un problème de grande taille (l'application hospitalière portait sur un bloc d'ambulatoire de 6 salles avec 18 patients/jour), il n'est donc pas certain que leur algorithme fournisse une solution satisfaisante en un temps acceptable. La seconde est que les auteurs ont traité un problème d'ordonnancement déterministe. Enfin, la mise en œuvre d'un tel algorithme suppose et nécessite que la programmation soit réalisée à partir d'un outil informatique de suivi de l'activité, ce qui n'est pas le cas actuellement dans la majorité des plateaux techniques.

Dans (Marcon, 2004), l'auteur traite l'ordonnancement des interventions au bloc opératoire et en salle de soins post-interventionnels comme étant un flow-shop hybride à deux étages avec N machines en parallèle sur le premier étage et M machines en parallèle sur le second avec blocage car lorsque une intervention se termine le patient doit quitter la salle opératoire et accéder sans attente à la SSPI. Les listes d'interventions pour la journée sont pré-établies. Le problème consiste donc à trouver uniquement la bonne permutation de ces listes afin d'atteindre un objectif. Ce problème d'ordonnancement sous cette forme originale est considéré dans la littérature comme NP-Complet au sens fort (Garey et Johnson, 1991). L'auteur propose d'étudier l'impact de l'utilisation de différentes règles d'ordonnancement reconnues efficaces pour des problèmes donnés (i.e machine unique, machines parallèles, flow-shop à deux machines, etc.) dans un contexte stochastique. Pour cela, cinq règles ont été sélectionnées : *LSTF*, *SSTF*, *V-shaped*, Λ -shaped et règle de Johnson. A l'exception de Johnson ces règles sont applicables uniquement au premier étage du flow-shop et la règle d'allocation sur les postes du second étage est celle du *FIFO*.

Jebali (Jebali, 2004) présente une synthèse des travaux réalisés dans laquelle elle met en évidence deux types d'approches, suivant une classification proposée par Kharraj et al. (Kharraja et al., 2002). Dans la première classe d'approches, les auteurs prennent en compte uniquement les salles opératoires et centrent leurs efforts sur un ordonnancement qui respecte les contraintes des ressources humaines et matérielles, ainsi que des règles d'hygiène et de sécurité. Dans le cas où les chirurgiens ne peuvent intervenir que dans une salle opératoire, la règle *LPT* semble celle couramment utilisée par les responsables de bloc. Dans le cas contraire où les chirurgiens peuvent opérer sur plusieurs salles dans la même journée, il est nécessaire de résoudre un problème d'ordonnancement sur machines parallèles.

La seconde classe d'approches prend en compte les contraintes des salles opératoires et de la SSPI. Kharraj propose pour ce problème une décomposition spatiale du problème flow-shop hybride à deux étages en N flow-shop à deux étages (Kharraja et al. 2002), l'ordonnancement optimal des interventions est alors obtenu en appliquant l'algorithme de Johnson. De leur côté Guinet (Guinet et Chaabane, 2003) et Jebali (Jebali, 2004) proposent une modélisation du problème sans hy-

pothèse simplificatrice à partir d'un programme linéaire mixte.

Dans (Chaabane, 2004), l'auteur modélise le problème d'ordonnancement sous la forme d'un flow-shop hybride avec cycles ou plus génériquement sous la forme d'un job-shop avec machines dupliquées. Les N travaux présentent les interventions à réaliser. Les ressources utilisées en série sont : les binômes de brancardiers (brancardage aller), les salles d'opérations, les postes de réveil et les binômes de brancardiers (brancardage retour). L'auteur a proposé une solution basée sur la transformation du problème flow-shop hybride avec recirculation en un problème flow-shop avec des contraintes de précedence pour lequel plusieurs outils sont connus et adaptables. Ils ont remarqué que la règle *FAM* (First Available Machine) donne des solutions plus chères que celles fournies par *LBM* en moyenne de plus 1% à 10%. Les résultats trouvés montrent que le couple *NEHP* (Nawaz, Enscore et Ham associé à l'indice de Palmer), *LBM* donnent des solutions les moins chères.

3. PROBLEME ETUDIE

Nous nous intéressons dans ce papier à l'ordonnancement du bloc opératoire après planification. L'objectif de la planification est d'affecter une salle d'opérations et un créneau horaire d'une journée à chaque intervention programmée ou non programmée (greffes). Ce problème peut être détaillé ainsi : plusieurs patients doivent subir une intervention dans un bloc opératoire. Le bloc opératoire est composé de plusieurs salles d'opérations et d'une salle de réveil comportant plusieurs lits équipés pour accueillir le patient après son intervention chirurgicale et assurer son réveil (au moins 1 lit par salle d'opérations, la *SFAR* (Sfar, 1997) recommandant de prévoir 1,5 lits de réveil par salle d'opérations). Chaque réalisation d'intervention dans une salle d'opérations nécessite un lit dans la salle de réveil sans temps d'attente entre la fin de l'intervention et le début du réveil. Dans cette configuration, une nouvelle intervention pourra être réalisée dans la salle d'opérations libérée après un temps de nettoyage. Chaque patient doit recevoir un traitement anesthésique et un traitement chirurgical pendant son intervention.

L'ordonnancement des salles d'opérations a pour objectif de déterminer le détail de la réalisation des interventions en salles d'opérations et en salle de réveil de manière à faciliter le travail des infirmiers, des aides-soignants et des brancardiers. Le problème d'ordonnancement est identifié comme étant un problème de type flow-shop hybride à deux étages sans temps d'attente si on ne prend pas en compte les brancardiers. Dans le cas où nous considérons les brancardiers le problème est identifié à un problème flow-shop hybride à trois étages avec recirculation. L'ordonnancement considéré par la suite est de type ordonnancement de permutation pour des raisons de simplification. Considérant l'aspect hybride, l'affectation des travaux aux machines permettra de lever cette hypothèse. Concernant la complexité de résolution, le problème flow-shop simple (sans duplication de ressources), à deux étages sans attente peut être résolu de

manière optimale en un temps polynomial par l'algorithme de Gilmore et Gomory (Gilmore et Gomory, 1964). Le problème hybride (avec duplication de ressources) sans temps d'attente est NP-difficile (Hall et Sriskandarajah, 1996). Sriskandarajah (Sriskandarajah, 1993) propose une heuristique pour ce dernier problème qui partitionne tout d'abord le flow-shop hybride en plusieurs flow-shop simples, ensuite répartit les travaux à ordonnancer entre les différents flow-shop et finalement ordonnance chaque flow-shop à l'aide de l'algorithme de Gilmore et Gomory .

Le problème peut donc être modélisé dans notre cas sous la forme d'un flow-shop hybride avec cycles ou plus génériquement d'un job-shop avec machines dupliquées. Les N travaux représentent les interventions à réaliser. Les ressources utilisées en série sont : les $M(3)$ binômes de brancardiers (brancardage aller), les $M(1)$ salles d'opérations, les $M(2)$ postes de réveil et les $M(3)$ binômes de brancardiers (brancardage de retour). L'objectif est la minimisation de la plus grande date d'achèvement des interventions (Dexter, 2000).

4. APPROCHE DE RESOLUTION PROPOSEE

Une approche de résolution du flow-shop hybride avec recirculation pour les systèmes manufacturiers, consiste à transformer ce problème en un problème flow-shop hybride avec contraintes de précédence pour lequel plusieurs outils sont connus et adaptables (Guinet et Legrand, 1998) (Guinet, 2000).

Cette approche de résolution en deux étapes, consiste tout d'abord, à définir un ordre de visite des ressources afin d'éclater les travaux en des sous-travaux liés entre eux par des contraintes de précédence. Considérant des opérations fictives de durée nulle, chaque sous-travail visite les ressources en respectant l'ordre préalablement défini. Ensuite, on utilise un ordre de lancement des sous-travaux respectant les contraintes de précédence ainsi qu'une règle d'affectation vérifiant dans ce cas particulier les différentes contraintes de disponibilité des ressources (aucun stockage est permis entre la salle d'opérations et le poste de réveil ni entre le poste de réveil et la prise en charge par le binôme de brancardiers pour le trajet de retour). Plusieurs ordres de visite de ressources ont été étudiés (Chaabane, 2004). Il ressort dans cette première partie de l'expérimentation que la séquence « salle d'opération << poste de réveil << binôme brancardiers » s'avère la plus pratique (vis-à-vis des contraintes d'absence de stocks intermédiaires) et la plus efficace respectivement en temps de calcul et en minimisation des temps morts. Suivant cet ordre, tout travail est éclaté en un sous-travail prédécesseur nécessitant deux opérations fictives ainsi qu'une opération de brancardage aller et un sous-travail successeur requérant les opérations chirurgie, réveil et brancardage retour. Dans (Chaabane, 2004), l'auteur a étudié les règles de séquençement adapté suivantes : Dannenbring, Palmer, Campbell-Dudek-et-Smith, Nawaz-Enscore-et-Ham ainsi que Szwarc. Les règles d'affectation First Available Machine et Last Busy Machine ont été expérimentées pour l'allocation sous-contraintes des exemplaires de ressources. Il a montré

que le couple Nawaz-Enscore-et-Ham avec l'indice de Palmer et Last Busy Machine donne le meilleur résultat (*NEHDLBM*).

Dans ce travail, nous essayons d'améliorer la meilleure heuristique proposée dans (Chaabane, 2004). Nous commençons par rappeler les étapes de création de l'heuristique *NEHDLBM* qui sont les suivantes :

A1. Ordre de lancement : L'indice de Palmer est utilisé pour la résolution des problèmes flow-shop à M machines : $N/M/F/C$ max (Palmer, 1965). Il consiste à trier les travaux dans l'ordre décroissant d'un indice (i) définit pour chaque travail comme suit :

$$indice(i) = \sum_{j=1}^M ((2 * j - M - 1) / 2) * p(i, j) \quad \forall i = 1, \dots, N$$

Avec $p(i, j)$ la durée opératoire du travail i sur la machine j .

Cet indice permet de favoriser les travaux ayant des petits temps opératoires sur les premières machines et des grands temps opératoires sur les dernières machines en les plaçant en premier, et dans la configuration inverse en dernier.

B1. Prise en compte des contraintes de précédence :

La prise en compte des contraintes de précédence s'effectue par une modification des temps opératoires pour le calcul de l'ordre de lancement selon les principes suivants. Si un ensemble de travaux est trié par ordre croissant des temps opératoires, le temps du prédécesseur est additionné au temps du successeur afin que ce dernier soit rangé après le prédécesseur. Si un ensemble de travaux est trié par ordre décroissant des temps opératoires, le temps du successeur est additionné au temps du prédécesseur afin que ce dernier soit rangé avant le prédécesseur (Guinet, 2000).

C1. Résolution du problème : L'heuristique *NEH* permet de résoudre des problèmes flow-shop à M machines ($M \gg 2$) en minimisant la plus grande date d'achèvement. *NEH* part de l'hypothèse qu'une attention plus grande doit être accordée aux travaux ayant des temps opératoires importants. Premièrement, elle ordonne les deux travaux ayant les plus grands temps opératoires. Deuxièmement, elle sélectionne le travail non ordonné ayant le plus grand temps opératoire. Elle insère dans l'ordre précédent de manière à minimiser la plus grande date d'achèvement. L'étape d'insertion est répétée jusqu'à ce que tous les travaux soient ordonnés. A l'exemple des travaux de Dannenbring ou de Palmer, une pondération croissante basée sur les indices de travaux i peut être ici aussi utilisée (Dannenbring, 1977 ; Palmer, 1965).

D1. Règle d'affectation des travaux aux machines considérée :

La règle *LBM* (Last Busy Machine) affecte chaque travail (considéré dans l'ordre de lancement trouvé après résolution par *NEH* du problème réduit) au dernier exemplaire de machine libéré qui ne met pas en retard ce travail et ceci pour chaque machine dans

l'ordre retenu pour les machines. Un travail n'est affecté que si l'ensemble de ses prédécesseurs a déjà été affecté.

Dans ce travail, nous proposons l'heuristique *Nouv* dont les étapes de création sont les suivantes :

A2. Ordre de lancement : Afin d'améliorer l'heuristique proposée dans (Chaabane, 2004), nous avons pensé à améliorer l'indice de Palmer par un deuxième défini à la base pour la résolution d'un problème job-shop. Tel que définit dans (Silver et al., 1998), il consiste à trier les travaux dans l'ordre décroissant d'un indice propre pour chaque travail et déterminé comme suit :

$$indice(i) = 1 / p(i,1) - 1 / p(i,2) \quad \forall i = 1, \dots, N$$

Où $p(i,1)$ et $p(i,2)$ définissent respectivement les durées d'exécution du travail i sur la première et la deuxième machine.

Une fois que l'ordre de passage sur la machine est fixé pour tous les travaux, une certaine modification de la règle de Johnson (Silver et al., 1998) peut être appliquée afin de minimiser la valeur de la date d'achèvement globale (conseillée lorsque les durées opératoires sont exponentielles). Cet indice permet de placer les travaux dans l'ordre décroissant des valeurs obtenues par la différence entre les durées opératoires de chaque travail sur les deux machines.

Dans ce travail, nous modifions la valeur de l'indice afin de prendre en considération un nombre de machines M dans la résolution du problème étudié de la manière suivante :

$$indice(i) = \sum_{j=1}^M (-1)^{j+1} / p(i, j) \quad \forall i = 1, \dots, N$$

B2. Prise en compte des contraintes de précédence :

Dans (Chaabane, 2004), l'indice de Palmer est utilisé après la transformation du job-shop en un problème flow-shop. Puisque l'ensemble de travaux est trié par ordre décroissant des temps opératoires, les temps des successeurs sont additionnés au temps des prédécesseurs afin que ces derniers soient rangés avant les successeurs (Guinet, 2000). Cet indice est pris en considération dans le calcul des nouveaux temps opératoires de chaque travail ~~et de tous ses successeurs dans les ateliers ainsi que les décalages temporels associés~~. Ensuite, *NEH* est appliquée aux nouveaux travaux qui vont être ordonnées dans l'ordre décroissant des nouveaux temps opératoires. Dans notre solution proposée, nous gardons le même principe de l'heuristique *NEHDLBM* tout en changeant l'indice de Palmer par celui proposé dans A2. Nous gardons la même règle de calcul des nouveaux temps opératoires puisque nous avons un ordre de classement décroissant selon la valeur de l'indice.

C2. Résolution du problème : On garde toujours l'heuristique *NEH* minimisant la plus grande date d'achèvement.

D2. Règle d'affectation des travaux aux machines considérée : La règle *LBM* est aussi retenue dans notre heuristique proposée.

5. EXPERIMENTATIONS

Pour chaque plan, 554 problèmes ont été générés aléatoirement suivant des lois statiques de distribution Log-Normale (Zhou et Dexter, 1998). 17 tailles de problèmes ont été étudiées (N : [10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90]). Nous considérons 3 salles d'opérations, 3 lits de réveil et 2 binômes de brancardiers.

Les temps opératoires pour chaque étage ont été définis comme suit :

- Salle d'opérations : moyenne 120 mn et d'écart type 60 mn.
- Lit de réveil : moyenne 60 mn et d'écart type 30 mn.
- Brancardage : moyenne 30 mn et d'écart type 10 mn.

Pour évaluer notre heuristique nous l'avons comparé par rapport à la meilleure heuristique proposée en (Chaabane, 2004), *NEHDLBM*. Dans (Chaabane, 2004), l'auteur a comparé chacune des règles *NEH*, *NEHDLBM* (*NEH* avec indice de Palmer), *CDS* et *SZW* avec les règles d'affectation *FAM* et *LBM*. La règle *FAM* donne des solutions plus chères que celles fournies par *LBM*, cette différence est en moyenne supérieure à 10% et peut atteindre jusqu'à 31% au maximum.

Avec la règle *LBM*, l'heuristique *NEH* fournit des C max plus chers que ceux fournis par *NEHDLBM* en moyenne de 2,86%. Ils peuvent atteindre 56,15% plus chers dans le pire des cas et ils restent dans la majorité plus chers d'environ 20%. L'heuristique *CDS* fournit des C max plus chers que ceux fournis par *NEHDLBM* en moyenne de 13,16% (au maximum 56,15%) et plus le nombre d'interventions augmente plus les C max sont chers. L'heuristique *SZW* engendre des C max plus chers que *NEHDLBM* en moyenne de 13,60% (au maximum 36,65%).

Dans le Tableau 1, nous montrons nos expérimentations pour chaque valeur de N . Pour chaque taille de problème, 32 tests sont considérés. Nous trouvons pour chaque configuration de problème :

- Le nombre de travaux (N),
- Le minimum de l'écart de la différence entre l'heuristique (*Nouv*) et (*NEHDLBM*), défini par $\text{minimum}((C \max (NEHDLBM) - C \max (Nouv)) / C \max (Nouv))$.
- Le maximum de l'écart de la différence entre l'heuristique (*Nouv*) et (*NEHDLBM*), défini par $\text{maximum}((C \max (NEHDLBM) - C \max (Nouv)) / C \max (Nouv))$.
- La moyenne de l'écart de la différence entre l'heuristique (*Nouv*) et (*NEHDLBM*), défini par $\text{moyenne}((C \max (NEHDLBM) - C \max (Nouv)) / C \max (Nouv))$.

<i>N</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Moy</i>
10	22,20%	-12,38%	0,31%
15	21,34%	-15,62%	4,24%
20	19,20%	-14,32%	0,86%
25	14,25%	-14,16%	1,48%
30	22,50%	-10,23%	6,32%
35	21,63%	-15,70%	2,49%
40	19,88%	-7,17%	2,79%
45	22,38%	-3,96%	7,12%
50	22,56%	-4,93%	5,94%
55	19,57%	-1,03%	7,58%
60	18,83%	-5,22%	5,87%
65	14,99%	-0,37%	7,24%
70	16,03%	-4,12%	6,53%
75	16,96%	-1,54%	7,13%
80	14,29%	-0,73%	7,61%
85	15,36%	1,32%	8,62%
90	32,00%	-0,94%	8,92%
moyenne	21,70%	-6,54%	5,36%

Tableau 1. Evolution du maximum, minimum et moyenne des écarts en fonction du nombre de travaux

Nous montrons dans le tableau 1 que l'écart moyen varie entre 0,31% et 8,92%, l'écart minimum varie entre -15,70% et 1,32% et que l'écart maximal varie entre 14,25% et 32,00%. L'évolution de l'écart moyen est croissante en fonction de *N* mais cet écart est toujours positif donc en faveur de *Nouv*.

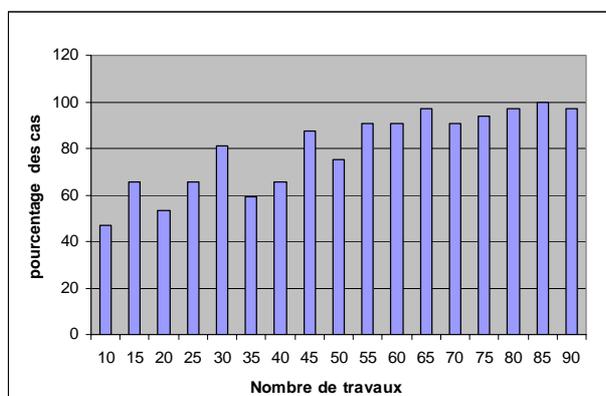


Figure 1. Evolution du nombre de cas où *Nouv* est meilleure que *NEHDLBM* en fonction de *N*

Dans la figure 1, nous précisons le nombre de cas sur 32 pour chaque configuration où *Nouv* donne un résultat meilleur que *NEHDLBM*. Cet histogramme montre que le taux indiquant que *Nouv* est meilleure varie de 46,87% à 100%. Cette heuristique est plus intéressante lorsque *N* augmente dans 79,77% des cas. La nouvelle heuristique semble plus performante que l'ancienne, plus particulièrement dans les cas d'un nombre de travaux importants.

6. CONCLUSION

L'ordonnancement des opérations dans un bloc opératoire est l'un des problèmes importants de la gestion opératoire. Nous avons proposé dans ce travail une heuristique utilisant une variation de l'indice de Palmer appliqué avec les règles *NEH* et *LBM*. Cette heuristique a fait preuve d'efficacité dans le cadre d'une comparaison à un travail déjà présenté pour le même problème. En effet, elle donne un pourcentage de nombre de cas améliorés de 79,77%. Ce pourcentage est plus intéressant lorsque le nombre de travaux augmente. Cette heuristique pourrait être améliorée en agissant sur la règle *LBM*. Cependant, cette méthode n'a pas encore été testée avec un nombre de salles d'opérations plus grand. De même, d'autres heuristiques peuvent être proposées en se basant sur des méthodes de descente qui vraisemblablement devraient être plus coûteuses en temps de calcul.

REFERENCES

- Chaabane S., A. Guinet, N. Smolski, M. Guiraud, B. Luquet, E. Marcon and J.P. Viale, 2003, La gestion industrielle et la gestion des blocs opératoires, *Annales Françaises d'Anesthésie et de réanimation*, vol. 22, pp. 904-08.
- Chaabane, S., 2004, *Gestion prédictive des blocs opératoires*, Thèse de Doctorat, Institut National des sciences appliquées de Lyon, France.
- Courtois A., C. Martin-Bennefous, M. Pillet, 2000, *Gestion de production*, France : Editions d'Organisation.
- Dannenbring D., 1977, An evaluation of flow-shop sequencing heuristics, *Management Science*, vol. 23 (issue 11), pp. 1174-1182.
- Dexter F., A. Macario and R.D. Traub, 1999, Which algorithm for scheduling add-on elective cases maximize operating room utilization? Use of Packing and Fuzzy constraints in operating room management, *Anesthesiology*, vol. 91, pp. 1491-500.
- Dexter F., 2000, A strategy to decide whether to move the last case of the day in an operating room to an other empty operating room to decrease overtime labour costs, *Anesthesia and Analgesia*, pp. 925-8.
- Garey M. R. and D.S. Johnson, 1991, Computers an Intractability, *A guide to the Theory of NP-Completeness*, ed. Freeman and Compagny, NW.
- Gilmore P.C. and R.E. Gomory, 1964, Sequencing a one state variable machine : a solvable case of traveling salesman problem, *Operations Research*, vol. 12, pp. 655-79.
- Guinet A. and M. Legrand, 1998, Reduction of job-shop problems to flow-shop problems with precedence constraints, *European Journal of Operational Research*, vol. 109, pp. 96-110.
- Guinet A., 2000, Efficiency of reductions of jobs to flow-shop problems, *European Journal of Operational Research*, 2000, vol. 105, pp. 469-85.
- Guinet A., 2001, A linear programming approach to define the operating room opening hours, *Electronic proceedings of Conception and Production integrated (CPI'2001)*, vol. 29., pp 1-10.

- Guinet A. and S. Chaabane, 2003, Operating Theatre Planning, *International Journal of Production Economics (IJPE)*, vol 185, pp. 69-81.
- Hall N.G. and C. Sriskandarajah, 1996, A survey of machine scheduling problems with blocking and no-wait process, *Operations Research*, vol. 44, pp. 510-25.
- Hsu VN, R. de Matta and CY. Lee, 2003, Scheduling patients in an ambulatory surgical center, *Nav Res Log*, vol. 50, pp. 218-238.
- Jebali A., A.B. Hajalouane and P. Ladet, 2003, Operating room Scheduling, *Proceeding in International Conference on Industrial Engineering and Production Management*, IEPM'2003.
- Jebali, A., 2004, *Vers un outil d'aide à la planification et à l'ordonnancement des ressources dans les services de soins*, Thèse de Doctorat, INP Grenoble, France.
- Kharraja S., S. Chaabane and E. Marcon, 2002, Evaluation de performances pour deux modèles de programmation opératoire de bloc, *2ème conférence Internationale Francophone d'Automatique*, CIFA'2002.
- Kharraja S., 2003, Outils d'aide à la planification et l'ordonnancement des plateaux-médico-techniques. Génie industriel, *Saint-Etienne : université Jean-Monnet*, pp. 153.
- Linn, R. and W. Zhang, 1999, Hybrid flow shop scheduling: A survey, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 37, pp. 57-61.
- Macario A., T.S. Vitez, B. Dunn and T. Mc Donald, 1995, Where are the costs in perioperative care? Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care, *Anesthesiology*, vol. 83, pp. 1138-44.
- Macario A., T.S. Vitez, B. Dunn, T. Mc Donald and B. Brown, 1997, Hospital costs and severity of illness in three types of elective surgery, *Anesthesiology*, vol 86, pp. 92-100.
- Macario A., D. Glenn and F. Dexter, 1999, What can the postanesthesia care unit manager do to decrease costs in the postanesthesia care unit?, *J Perianesth*, vol 14, pp. 248-93.
- Marcon E., S. Kharraj and G. Simonnet, 2001, Minimization of the risk of non realization for the planning of the surgical interventions into the operating theatre, *8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp. 675-80.
- Marcon E. and S. Kharraj, 2002, Etude exploratrice sur la stratégie de dimensionnement d'une SSPI, *IEEE Conférence Internationale Francophone d'Automatique*, CIFA'2002.
- Marcon E., S. Kharraj, N. Smoski, B. Luquet and J.P. Viale, 2003, Determining the number of bed in the postanesthesia care unit : a computer simulation approach, *Anesthesia & Analgesia*, vol. 96, pp. 1451-23.
- Marcon E., 2004, Influence de l'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires sur le fonctionnement de la Salle de Soins Post-Interventionnels (SSPI), *Giseh' 2004*.
- Palmer D.S., 1965, Sequencing jobs through a multi stage process in the minimum total time. A quick method of obtaining a near optimum. *Operation. Research Quartely*, vol. 16, pp. 101-107.
- Sfar, 1997, *Les référentiels en Anesthésie-Réanimation réunis par la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation*, [en ligne] : www.sfar.org.
- Silver E. A., D. F. Pyke and R. Peterson, 1998, Inventory and Production Planning and Scheduling, *John Wiley&Sons*.
- Smolski N., 1999, Programmation opératoire : prérequis et procédures, *Informations Cliniques en Anesthésie Réanimation*, pp. 95-108.
- Sriskandarajah C., 1993, Performance of scheduling algorithms for no-wait flow-shops with parallel machines, *European Journal and Operational Research*, vol. 70, pp. 365-78.
- Zhou J. and Dexter, F., 1998, Method to assist in the scheduling of add-on surgical cases-upper prediction bounds for surgical case durations based on the log normal distribution, *Anesthesiology*, vol. 89, pp. 1228-32.