

PROGRAMMATION DES INTERVENTIONS DE STABILISATION DANS LES SALLES OPERATOIRES : CAS D'UNE CATASTROPHE A EFFET LIMITE

Issam NOUAOURI, Sonia HAJRI-GABOUJ

Unité de Recherche URAII, INSAT-Tunis, Centre
Urbain Nord B.P. N°676, 1080 Tunis Cedex
issam.nouaouri@fsa.univ-artois.fr
sonia.gabouj@insat.rnu.tn

Najoua DRIDI

Unité de Recherche OASIS, ENIT, BP. 37,
Le belvédère1002, Tunis
najoua.dridi@enit.rnu.tn

Jean Christophe NICOLAS, Daniel JOLLY

LGI2A, Faculté des Sciences Appliquées
Technoparc Futura, 62400 Béthune, France
jchristophe.nicolas@univ-artois.fr
daniel.jolly@univ-artois.fr

Dr. Mondher GABOUJ

Direction Générale de la Santé Militaire
Av. Mefteh Saadallah, Ras ettabia, 1005, Tunis
gaboujmond@yahoo.fr

RESUME

Dans cet article, nous étudions le problème de programmation des interventions de stabilisation, dans le cas d'une catastrophe à effet limité. L'objectif recherché diffère de ceux utilisés en situation normale ; pour un afflux massif de victimes, il s'agit de sauver le maximum de vies humaines. Face à une telle situation, le corps médical peut être renforcé au cours du temps, selon l'ampleur de la catastrophe. Chaque victime est caractérisée par une date d'arrivée à l'hôpital et un délai d'intervention. Nous proposons un modèle mathématique linéaire en nombres entiers que nous résolvons à l'aide du solveur Cplex. Les résultats expérimentaux permettent d'apprécier l'apport de ce travail, non seulement dans l'organisation et l'exploitation optimales des ressources disponibles, mais aussi, en tant qu'outil d'aide à la décision.

MOTS-CLES : *Catastrophe à effet limité ; Programmation opératoire ; Salles opératoires ; Stabilisation ; Programmation linéaire en nombres entiers.*

1. INTRODUCTION

Une catastrophe à effet limité est définie comme étant une grave perturbation d'une société, causant un nombre de victimes compris entre 25 et 99 (attentats dans un lieu public, accident grave dans la voie public, etc.) (Noto R. *et al.*, 1994), (Dahri M.A., 1999). Face à une telle situation, les moyens sanitaires classiques et de routine se trouvent souvent dépassés, et par conséquent, inefficaces pour absorber cet afflux massif de victimes. La mise en œuvre d'un système de gestion hospitalier, conditionné par une optimisation des différentes ressources médicales, est indispensable pour sauver le maximum de vies humaines.

Suite à une catastrophe, un Poste Médical Avancé (PMA) est mis en place à proximité de la zone sinistrée, assurant le triage des victimes et les premiers soins d'urgence. Plus précis, le triage est

un acte médical de diagnostic, qui permet de catégoriser chaque victime, selon son degré d'urgence, celui-ci étant traduit par un délai de prise en charge médico-chirurgicale au delà duquel, le pronostic vital est mis en danger (Dahri M.A., 1999), (Ministère de la santé et de la solidarité, 2006). Ainsi, les extrêmes urgences nécessitent des gestes salvateurs immédiats au niveau du PMA. Quant aux urgences de premier, deuxième et troisième degré, elles sont mises en conditions d'évacuation à l'hôpital d'accueil, où elles doivent être prises en charge dans des délais respectifs, inférieurs à 6 heures, 18 heures et 36 heures.

Dans le but de sauver le maximum de vies humaines et devant l'incapacité de prendre en charge, en une seule fois et de manière définitive, chaque victime évacuée, l'établissement d'accueil a recours à des actes de stabilisation médico-chirurgicale. Ces actes permettent de transformer

les degrés d'urgence des victimes, et ainsi d'augmenter leurs délais de prise en charge définitive. Considérons, à titre d'exemple, une extrême urgence de traumatisme hépatique complexe qui, suite à un remplissage vasculaire au niveau du PMA, devient une urgence de premier degré. Une intervention chirurgicale de stabilisation « packing » à l'hôpital, d'une durée maximale de 15 minutes, permettra de transformer cette urgence en troisième degré, augmentant ainsi le délai de prise en charge définitive de la victime de plus de 18 heures.

Par rapport à cette problématique, nous développons des travaux liés à l'ordonnancement et à l'affectation des interventions de stabilisation au bloc opératoire. Compte tenu des capacités des moyens de transport disponibles, les victimes ne peuvent être transférées en une seule fois, et arrivent progressivement à l'hôpital d'accueil. D'un autre côté, les ressources humaines (médicales et paramédicales) peuvent être renforcées au cours du temps, selon l'ampleur du sinistre, le nombre de victimes et la nature des lésions à traiter.

Par ailleurs, chaque hôpital dispose de plans d'action (plan blanc, plan rouge, etc.), lui garantissant d'organiser et de coordonner au mieux les moyens de secours en cas d'afflux massif de victimes (Ministère de la santé et de la solidarité, 2006). Cependant, ces plans d'action ne permettent pas de déterminer pour chaque victime et selon son degré d'urgence, l'heure à laquelle elle sera prise en charge, le chirurgien qui va l'opérer et la salle opératoire dans laquelle aura lieu l'intervention. Ce problème de programmation opératoire en situation d'exception, présente certaines spécificités qui, à hauteur de nos recherches, n'ont pas encore été considérées dans la littérature, et qui, à notre avis, justifient le développement de méthodes de résolution adaptées.

Cet article s'organise autour de 5 sections. La section 2 fait état des travaux établis dans la littérature afférente à la programmation opératoire. Dans la section 3, nous donnons une description du problème. Dans la section 4, nous proposons un modèle de programmation linéaire en nombres entiers. Les résultats obtenus à l'aide du solveur Cplex sont présentés et analysés dans la section 5. Une conclusion et des perspectives clôturent enfin, cet article.

2- REVUE DE LA LITTÉRATURE

Les systèmes hospitaliers sont des systèmes complexes faisant intervenir et collaborer un nombre important et très varié de ressources humaines et matérielles. Pour comprendre et analyser le

d'augmenter leurs délais de prise en charge fonctionnement de tels systèmes, différents outils de modélisation et de simulation sont utilisés (Artiba A. et al., 2004), (Bounekkar A. et al., 2004), (Trilling L. et al., 2004) (Aleksy B. et Chabroul M., 2006), (Aloui S. et al., 2006). Cependant, dans ce secteur qui induit des coûts élevés, les méthodes d'optimisation trouvent aussi, largement leurs places.

Plusieurs travaux traitent le problème de la programmation des interventions au bloc opératoire. L'importance de ce problème dans le système décisionnel, explique l'abondance des travaux. Il s'agit d'affecter et d'ordonner les interventions sur les ressources (salles opératoires, chirurgiens, etc.), et ainsi déterminer, sur un horizon prédéfini, les dates de début de chaque intervention (Blake J.T. et al., 2002), (Kuo P.C. et al., 2003), (Guinet A. et al., 2003), (Fei H. et al., 2004), (Jebali A. et al., 2005).

L'horizon d'étude peut être vierge de toute contrainte de placement, on parle dans ce cas de programmation ouverte (Kharraja S., 2004), ou au contraire, contenir des plages horaires programmées à l'avance par chirurgien ou par service, on parle alors de programmation par allocation préalable de plages (Dexter F. et al., 1999), (Strum D.P. et al., 1999), avec possibilité d'ajustement (Dexter F. et al., 2000), (Hammami S. et al., 2006). Une comparaison des performances des politiques de programmation opératoire se trouve dans (Chaabane S. et al., 2006). Par ailleurs, d'autres travaux prennent en considération certains services annexes aux salles opératoires tels que les salles de surveillances post-interventionnelles (SSPI), (Ozkarahan I., 2000), (Jebali A. et al., 2004), (Marcon.E., 2004), (Fei H. et al., 2006), (Guinet A. et al., 2006), et les services d'hospitalisation (Jebali A. et al., 2004).

Différentes méthodes de résolution du problème de la programmation opératoire sont présentées dans la littérature. Elles se basent sur : la programmation linéaire (Ozkarahan I., 2000), (Blake J.T. et al., 2002), (Guinet A. et al., 2003), (Jebali A. et al., 2004), (Jebali A. et al., 2005), la génération de colonnes (Fei H. et al., 2004), les algorithmes génétiques et la recherche tabou (Fei H. et al., 2006). Les règles longest surgical time first et shortest surgical time first (Pinedo M., 2002), les procédures Λ -shapped et V-shapped (Al-Turki U. et al. 1996), (Chunfu J., 2001) ainsi que l'algorithme de Johnson (Johnson S.M., 1954) sont étudiés pour le lissage de la charge en SSPI et la minimisation du C_{max} dans (Marcon.E., 2004).

Tous ces travaux considèrent des interventions programmées et supposent que le planning à réaliser

n'est pas soumis à des imprévus. En pratique, des urgences quotidiennes non programmées peuvent survenir et perturber cette programmation. Les structures hospitalières sont alors appelées à disposer d'outils capables d'analyser et d'assurer une meilleure prise en compte de ces perturbations. Dans ce sens, Wang, Q (Wang Q., 2004) propose un modèle mathématique pour l'évaluation du taux de service d'une source goulot (un service d'urgence par exemple) et du taux de mortalité, dans le cas où l'arrivée des patients est aléatoire. Dans (Balin S. et Giard V., 2006) et (Tao W. et Guinet A., 2006), les auteurs présentent des modèles de simulation du processus de passage des patients aux urgences. Ils utilisent respectivement ARIS et des concepts orientés objets, afin d'identifier les différents points de dysfonctionnement et d'améliorer le processus existant.

D'autres travaux se sont intéressés à la programmation des interventions urgentes quotidiennes. Dans (Kuo P.C. et al., 2003) les auteurs proposent un programme linéaire, qui alloue, dans le planning pré-établi une plage horaire par chirurgien dédiée aux urgences non programmées. Aucune intervention non programmée ne pourrait être réalisée en dehors de ces plages horaires. Dans (Lamiri M. et al., 2006), un modèle stochastique pour la planification simultanée, des interventions programmées et celles non programmées, est présenté. Les auteurs proposent une approche basée sur la programmation linéaire mixte en nombres entiers et la méthode de simulation Monte Carlo.

En situation normale, les critères fréquemment utilisés pour programmer les interventions sont, la maximisation du taux d'exploitation du bloc opératoire (Kuo P.C. et al., 2003), (Lamiri M. et al., 2006), (Fei H. et al., 2006), (Hans E. et al., 2007), la minimisation du Cmax (Marcon.E., 2004), des heures supplémentaires (Chaabane S. et al., 2006), (Guinet A. et al., 2006), (Dexter F. et al., 2007), et de l'attente entre les dates d'hospitalisation et d'intervention (Jebali A. et al., 2004).

Bien que le problème de programmation des interventions au bloc opératoire a fait l'objet de plusieurs efforts de recherche en situation normale, il n'existe pas, à notre connaissance, de travaux abordant ce problème en situation d'exception, où le défi majeur de l'hôpital est de sauver le maximum de vies humaines. Par ailleurs, suite à une catastrophe, les interventions programmées sont différées pour céder la place aux interventions de stabilisation. Ainsi, les victimes évacuées ne peuvent être assimilées à des urgences quotidiennes, auxquelles les travaux qui s'y rapportent s'appliqueraient.

3- DESCRIPTION DU PROBLEME

Avant de décrire le problème, voici les différentes notations utilisées:

N	Nombre de victimes.
S	Nombre de salles opératoires.
C	Nombre total de chirurgiens.
C_t	Nombre de chirurgiens présents à l'hôpital à l'instant t
T	Horizon de l'étude.
d_i	Durée de l'intervention de la victime i .
dl_i	Délai d'intervention de la victime i .
dar_i	Date d'arrivée de la victime i à l'hôpital.
r_c	Date d'arrivée du chirurgien c à l'hôpital.

Nous nous intéressons, dans cet article, à la programmation des interventions de stabilisation d'un afflux massif de victimes, engendré par une catastrophe à effet limité.

En une telle situation, le PMA communique à l'hôpital d'accueil, dès que possible, le nombre N de victimes. Aussi, il précise, pour chaque victime i , sa date d'arrivée dar_i à l'hôpital, l'intervention de stabilisation qu'elle nécessite, son délai dl_i (degré d'urgence) et sa durée opératoire d_i . La durée d'une intervention de stabilisation, ne dépasse pas 30 minutes. Rappelons que les actes de stabilisation sont des actes nécessaires à la survie, la victime sera prise en charge ultérieurement pour d'autres soins.

Au niveau de l'hôpital, on dispose de S salles opératoires polyvalentes, prêtes à accueillir les victimes pendant tout le temps nécessaire. On dispose également de C chirurgiens, chacun étant caractérisé par sa date d'arrivée et la seule salle opératoire à laquelle il est affecté. Face à des actes de stabilisation, les chirurgiens sont polyvalents, et nous pouvons considérer, sans perte de généralités, que le nombre de salles est égal au nombre de chirurgiens ($C=S$). En effet, une salle sans chirurgien ne peut être utilisée, et un chirurgien ne peut effectuer une intervention sans salle. Dans la suite nous parlons de chirurgien pour désigner la paire (chirurgien, salle).

Notre travail porte sur l'optimisation de la programmation des interventions de stabilisation, au bloc opératoire, avec pour objectif, sauver le maximum de vies humaines. Nous cherchons alors, une solution au problème d'affectation et d'ordonnement des interventions permettant de

maximiser le nombre de victimes traitées, en respectant des contraintes aussi variées que les dates d'arrivée à l'hôpital (des victimes et des chirurgiens), les durées des interventions, la capacité des ressources médicales, les ressources nécessaires aux interventions et les délais sur les interventions des victimes.

4- MODELE MATHEMATIQUE

Nous présentons dans cette section, la formulation mathématique de la programmation des interventions dans les salles opératoires en situation de catastrophe, par un programme linéaire en nombres entiers.

Désignons par M un nombre positif très grand et considérons les variables suivantes :

dd_i Date de début de l'intervention de la victime i

$$y_{ijc} = \begin{cases} 1 & \text{si l'intervention de la victime } j \text{ suit} \\ & \text{l'intervention de la victime } i \text{ avec un même} \\ & \text{chirurgien } c \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$X_{itc} = \begin{cases} 1 & \text{si l'intervention de la victime } i \text{ est affectée} \\ & \text{à l'instant } t \text{ au chirurgien } c \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

En utilisant les différentes notations décrites ci-dessus, nous proposons le programme linéaire suivant :

$Maximiser \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{C_t} X_{itc}$	(1)
--	-----

Sous les contraintes :

$\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{C_t} X_{itc} \leq 1$	$\forall i \in [1, N]$ (2)
--	----------------------------

$\sum_{i=1}^N X_{itc} \leq 1$	$\forall t \in [0, T], \forall c \in [1, C_t]$ (3)
-------------------------------	--

$\sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^{C_t} X_{itc} \leq C_t$	$\forall t \in [0, T]$ (4)
--	----------------------------

$dd_i - dl_i \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{C_t} X_{itc} - M(1 - \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{C_t} X_{itc}) \leq 0$	$\forall i \in [1, N]$ (5)
---	----------------------------

$dd_i \geq dar_i$	$\forall i \in [1, N]$ (6)
-------------------	----------------------------

$dd_i - r_c \sum_{t=1}^T X_{itc} - M(1 - \sum_{t=1}^T X_{itc}) \geq 0$	$\forall i \in [1, N], \forall c \in [1, C_t]$ (7)
--	--

$\sum_{j \neq i}^N y_{ijc} \leq 1$	$\forall i \in [1, N], \forall c \in [1, C_t]$ (8a)
------------------------------------	---

$\sum_{j \neq i}^N y_{jic} \leq 1$	$\forall i \in [1, N], \forall c \in [1, C_t]$ (8b)
------------------------------------	---

$\sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N y_{ijc} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T X_{itc} - 1$	$\forall c \in [1, C_t]$ (9)
--	------------------------------

$dd_i = \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{C_t} t X_{itc} + (1 - \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{C_t} X_{itc}) . M$	$\forall i \in [1, N]$ (10)
--	-----------------------------

$dd_j \geq dd_i + y_{ijc} d_i - M.(1 - y_{ijc})$	$\forall t, h \in [0, T], \forall i, j \in [1, N], \forall c \in [1, C_t]$ (11)
--	---

$y_{ijc} \in \{0,1\}$	$\forall i, j \in [1, N], \forall c \in [1, C]$ (12)
-----------------------	--

$X_{itc} \in \{0,1\}$	$\forall i \in [1, N], \forall t \in [0, T], \forall c \in [1, C]$ (13)
-----------------------	---

La fonction objectif (1) exprime la maximisation du nombre d'interventions réalisées. Les contraintes (2) assurent qu'une victime est affectée au plus, une seule fois pendant l'horizon T . Les contraintes (3) vérifient que pour chaque chirurgien c , une victime au plus est opérée à l'instant t . Les contraintes (4) garantissent que le nombre d'interventions affectées à l'instant t ne dépasse pas le nombre de chirurgiens présents à l'hôpital au même instant. (5) impose pour chaque victime traitée, que la date de prise en charge ne dépasse pas la date limite d'intervention. (6) et (7) vérifient qu'une intervention ne peut avoir lieu que lorsque victime et chirurgien sont présents à l'hôpital. Les contraintes (8a) (resp. (8b)) assurent qu'une intervention i ne peut être suivie (resp. précédée) que par au maximum une seule intervention. Les contraintes (8a), (8b) et (9) permettent de mettre $y_{ijc} = 1$ chaque fois que l'intervention j est effectuée à la suite de i par le même chirurgien c . Les contraintes (10) retiennent la date de début d'intervention concernant chacune des victimes traitées. Si une victime ne peut être prise en charge à temps, la date d'intervention est prise égale à la valeur M . Les contraintes (11) permettent de laisser un temps suffisant à un chirurgien c de réaliser deux opérations consécutives i et j .

5- RESOLUTION DU MODELE MATHEMATIQUE

Afin de valider le modèle mathématique proposé, il est important d'évaluer le temps de calcul nécessaire à l'obtention d'une solution. Nous avons alors, utilisé le solveur Cplex 9.1 avec l'éditeur ILOG, sur pentium® 4 de processeur 3.00 GHz, pour la résolution exacte de ce programme.

5.1. Génération des problèmes tests

N'ayant pas trouvé de problèmes tests dans la littérature, nous avons défini une série d'instances. En se basant sur des données réelles, nous avons généré cinq instances de taille maximale ($N=99$), qui diffèrent entre elles par le nombre de salles opératoires ($S=2, 3$ et 4) et les dates de disponibilité des chirurgiens ($R=(r_1, \dots, r_C)$ où $C=2, 3, 4$). A partir de chacune de ces instances, nous avons aléatoirement généré 3 autres instances, de tailles respectives 25, 50 et 70. Nous avons ainsi obtenu quatre familles de problème selon que la taille soit 25, 50, 75 ou 99 ; avec cinq instances pour chaque famille. Les différentes instances sont reportées dans les tableaux 3, 4 et 5 de l'annexe.

Chaque problème test est libellé $PN.S.R$ où N est le nombre de victimes, S le nombre de salles opératoires et R désigne les dates d'arrivées des

chirurgiens. A titre d'exemple $P50.3.R_3$, où $R_3=(0,0,30)$, est un problème de 50 victimes, 3 salles opératoires et 3 chirurgiens disponibles à partir des dates $r_1=0$, $r_2=0$ et $r_3=30$ minutes.

Les résultats numériques sont obtenus, en fixant l'horizon à $T = \max_{i=1, \dots, N} (dl_i + d_i)$. En effet, au-delà de

cette date, aucune victime ne peut être prise en charge. Notez que les durées, les dates ainsi que les délais définissant le problème, sont donnés en minutes.

5.2. Analyse des résultats

Pour chacune des instances générées, nous avons résolu le programme linéaire en nombres entiers correspondant. Le tableau 1 présente les résultats obtenus.

Pour chaque instance, nous indiquons : le temps de calcul en secondes (CPU (s)), le nombre de contraintes ($N.Cont.$), le nombre de variables ($N.Var.$), le nombre d'itérations ($N.Iter.$), la valeur de la fonction objectif ($F.Obj.$), le pourcentage de victimes traitées (P (%)) et la durée totale du programme opératoire en minutes ($C_{max}(min)$).

Problèmes tests	CPU (s)	$N.Cont.$	$N.Var.$	$N.Iter.$	$F.Obj.$	P (%)	$C_{max}(min)$
$P25.2.R_1$	6	13507	1201	101	21	84	210
$P25.3.R_2$	7.50	20248	1801	163	25	100	210
$P25.3.R_3$	3.75	20248	1801	123	25	100	195
$P25.4.R_4$	4.25	26989	2401	152	25	100	195
$P25.4.R_5$	6.25	26989	2401	124	25	100	210
$P50.2.R_1$	5.25	90532	2401	192	37	74	315
$P50.3.R_2$	6.56	135773	3601	391	47	94	315
$P50.3.R_3$	5.75	135773	3601	385	46	92	315
$P50.4.R_4$	7	181014	4801	285	50	100	315
$P50.4.R_5$	7.01	181014	4801	287	50	100	315
$P70.2.R_1$	8.57	208120	3361	186	40	57	315
$P70.3.R_2$	10	312145	5041	362	54	77	330
$P70.3.R_3$	9.75	312145	5041	294	53	76	330
$P70.4.R_4$	14.54	416170	6721	467	65	93	330
$P70.4.R_5$	13.01	416170	6721	599	63	90	330
$P99.2.R_1$	27	475897	4753	261	40	40	330
$P99.3.R_2$	34.17	713796	7129	387	60	61	315
$P99.3.R_3$	52.92	713796	7129	280	59	60	330
$P99.4.R_4$	58.39	951695	9505	515	74	75	330
$P99.4.R_5$	67	951695	9505	454	71	72	330

Tableau 1. Résultats numériques.

Problèmes tests	Victimes
$P25.2.R_1$	10; 63; 82; 12
$P50.2.R_1$	10; 48; 82; 3; 61; 12; 26; 7; 4; 25; 45; 23; 87
$P50.3.R_2$	82; 3; 40
$P50.3.R_3$	10; 24; 3; 45
$P70.2.R_1$	21; 6; 24; 76; 63; 48; 82; 3; 57; 61; 26; 84; 7; 1; 4; 8; 25; 27; 45; 23; 71; 87; 41; 43; 90; 60; 68; 44; 46; 96
$P70.3.R_2$	24; 48; 82; 3; 61; 26; 4; 8; 25; 27; 45; 43; 90; 60; 44; 46
$P70.3.R_3$	48; 82; 3; 61; 12; 26; 7; 8; 25; 27; 45; 23; 90; 60; 47; 44; 46
$P70.4.R_4$	63; 82; 3; 60; 44
$P70.4.R_5$	24; 48; 82; 3; 26; 7; 60
$P99.2.R_1$	6; 24; 66; 37; 42; 48; 82; 89; 91; 3; 57; 53; 61; 12; 69; 26; 7; 4; 8; 25; 27; 85; 45; 23; 71; 58; 51; 87; 41; 43; 90; 60; 68; 47; 33; 44; 46; 96; 65; 67; 74; 75; 28; 93; 79; 83; 54; 22; 70; 18; 5; 30; 36; 86; 88; 52; 59; 15; 81
$P99.3.R_2$	10; 24; 82; 3; 12; 26; 7; 4; 8; 25; 27; 45; 23; 71; 58; 87; 41; 43; 90; 60; 68; 44; 46; 96; 74; 75; 28; 93; 83; 54; 22; 70; 18; 5; 86; 88; 2; 52; 15
$P99.3.R_3$	10; 24; 48; 82; 91; 3; 61; 26; 7; 1; 4; 8; 25; 27; 45; 23; 71; 87; 39; 14; 41; 43; 90; 60; 68; 44; 46; 96; 74; 28; 93; 83; 54; 70; 18; 5; 36; 86; 2; 52
$P99.4.R_4$	48; 82; 3; 26; 7; 4; 8; 25; 27; 45; 71; 87; 41; 43; 90; 46; 74; 93; 83; 70; 18; 86; 2; 52; 15
$P99.4.R_5$	10; 24; 63; 82; 3; 12; 26; 7; 4; 8; 25; 27; 45; 23; 71; 87; 43; 90; 44; 46; 83; 54; 22; 70; 18; 5; 86; 15

Tableau 2. Victimes non prises en charge par l'hôpital.

Remarquons que, jusqu'à 70 victimes, la solution optimale est obtenue en moins de 15 secondes. Pour les problèmes de taille maximale ($N=99$), 67 secondes au maximum, sont nécessaires. Ces temps de calcul sont très acceptables et présentent un avantage certain pour une exploitation efficace du modèle proposé.

Il est intéressant de noter que la résolution de ce modèle, fournit les détails du planning des interventions de stabilisation à réaliser. De plus, la durée totale du planning informe sur le temps nécessaire à la mobilisation du bloc opératoire pour absorber l'afflux massif de victimes.

Par ailleurs, pour 14 instances, la solution optimale obtenue ne permet pas de traiter tous les cas, eu égard au nombre de victimes qui dépasse très vite la capacité d'accueil. Dans ces situations, l'identification de la liste des victimes, pour lesquelles la prise en charge ne peut se faire à temps (tableau 2), fournit une aide précieuse pour la régulation médicale. A partir du P.M.A., ces victimes seront alors orientées vers d'autres établissements de soins, maximisant ainsi leurs chances de survie.

La rapidité d'exécution permet en plus, de mesurer l'influence de la variation de certains paramètres sur la solution. Considérons, à titre d'exemple, les instances $P99.2.R_1$ et $P99.3.R_2$, on augmenterait le nombre de victimes traitées de 20 si 1 chirurgien de plus rejoignait l'hôpital à l'instant $t = 0$. Aussi, pour le cas de 99 victimes et 4 salles opératoires ($P99.4.R_4$ et $P99.4.R_5$), 3 victimes pourraient être traitées en plus, si les 4 chirurgiens rejoignaient l'hôpital à l'instant $t = 0$.

Ce constat est plus à même d'aider les décideurs à anticiper, et par voie de conséquence à s'organiser au mieux, afin de sauver le maximum de vies humaines. En effet, les plans d'actions tels que le plan blanc, nécessitent des exercices de simulation périodiques, dans le but de remédier aux défaillances constatées, et atteindre un maximum d'efficacité.

6- CONCLUSION

Dans cet article, nous avons abordé le problème d'ordonnement des interventions de stabilisation dans les salles opératoires, dans le cas d'une catastrophe à effet limité. La particularité de ce

problème repose d'une part, sur le caractère soudain nécessitant une action rapide, et d'autre part, sur le grand nombre de victimes de gravités variées pour lesquelles, une adéquation des ressources est nécessaire.

Pour résoudre ce problème, nous avons proposé un modèle de programmation linéaire en nombres entiers, que nous avons résolu avec le solveur Cplex. Pour les différentes instances générées, les résultats sont obtenus en des temps très acceptables (environ 1 mn pour 99 victimes). De plus, la méthode proposée fournit les détails du planning optimal des interventions, épargnant ainsi, le maximum de vies humaines. Lorsque les ressources disponibles sont insuffisantes, disposer de la liste des victimes refusées dans le planning, permet de les évacuer à temps, à partir du PMA, vers d'autres établissements de soins.

Intégré aux exercices de simulation des plans d'actions dont disposent les hôpitaux, le modèle proposé permet également aux décideurs d'anticiper, afin d'adapter leurs capacités à la demande et atteindre ainsi un maximum d'efficacité. En effet, l'analyse de plusieurs scénarii avec le modèle proposé, permet aux hôpitaux d'entreprendre des actions correctives : renforcer l'équipe sur place, dans le cas où le nombre de salles opératoires le permet, prévoir une extension au niveau de l'hôpital par le montage de blocs opératoires modulables, etc.

En termes de perspectives, nous envisageons d'intégrer l'évolution de l'état et du nombre de victimes au cours du temps. Nous étudierons ensuite les limites de cette proposition, dans les cas de catastrophes moyennes et majeures, avec un nombre beaucoup plus important de sinistrés.

REMERCIEMENTS

Ce travail est associé à une Action de Recherche Concertée d'Initiative Régionale (ARC-IR) sur les urgences hospitalières. Il s'agit d'un projet de recherche régional supporté par la région Nord Pas de Calais qui intègre des chercheurs universitaires et des praticiens du CHRU de Lille et d'autres établissements régionaux. Dans ce cadre, les auteurs remercient le Professeur Eric Wiel du SAMU Régionale de Lille et le docteur Cédric GOZE du SAMU de Valenciennes pour leur précieuse collaboration.

REFERENCES

Aleksy B. et Chabroul M., 2006, *Le projet de modélisation et de simulation des flux du nouvel hôpital Estaing : Aide à la décision versus management du changement*, 6^{ème}

Conférence Francophone de Modélisation et Simulation-MOSIM'06.

Aloui S., Collomp R., Chapurlat V., Penalva J-M., Mousnier A. Staccini P. et Quaranta J-F., 2006, *Modélisation de système hospitalier pour le management du risque*, 3ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2006.

Al-Turki U.M., Mittenthal J. et Ragavachari M., 1996, *A dominant subset of V-shaped sequences for a class of single machine sequencing problem*, European Journal of Operational Research, Vol.88, p.345-347.

Artiba A., Briquet M., Colin J., Dontaine A., Gourc D., Pourcel C. et Stock R., 2004, *Modélisation d'établissement de santé*, 2ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2004.

Balin S. et Giard V., 2006, *Problèmes méthodologiques posés par la simulation de processus de production de services - l'exemple d'un service d'urgence*, 3ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2006.

Blake J.T, Dexter F. et Donald J., 2002, *Operating room managers' use of integer programming for assigning block time to surgical groups: A case study*, International Anesthesia Research Society, p.143-148.

Bounekkar A., Brémond M., Clot D., Kabachi N., Lamure M. et Robert D., 2004, *Analyse des trajectoires patients au sein d'un établissement hospitalier*, 2ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2004.

Chaabane S., Meskens N., Guinet A., Laurent M., 2006, *Comparaison des performances des politiques de programmation opératoire*, 3ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2006.

Chunfu J., 2001, *Stochastic single machine scheduling with an exponentially distributed due date*, Operations Research Letters, Vol.28, p.199-203.

Dexter F., Marcario A. et O'Neill L., 2000, *Scheduling surgical cases into overflow block time computer simulation of the effects of the scheduling strategies on operating room labor costs*, Anesthesia and Analgesia, Vol.90, p.980-8.

Dexter F., Marcario A. et Traub RD., 1999, *which algorithm for scheduling add-on elective cases to maximizes operating room utilization ? Use*

- of bin packing algorithms and fuzzy constraints in operating room management*, Anesthesiology, Vol.91, p.1491-1500.
- Dexter F., Macario A., Ledolter J., 2007, *Identification of systematic underestimation (bias) of case durations during case scheduling would not markedly reduce overutilized operating room time*, Journal of Clinical Anesthesia Vol.19, p.198–203.
- Dhahri M.A., 1999, *Organisation des secours médicaux dans les situations d'exception en Tunisie*, D.E.S.S de médecine d'urgence et de catastrophe, Département d'Anesthésie et de réanimation, Hôpital Militaire de Tunis.
- Fei H., Duvivier D., Meskens N. et Chu C., 2006, *Ordonnancement journalier dans un bloc opératoire dans le cadre d'une stratégie « open scheduling »*, 3ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2006.
- Fei H., Chu C. et Meskens N., 2004, *Planification des salles opératoires : résolution par la génération de colonnes et la programmation dynamique*, 2ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2004.
- Guinet A., Chaabane S. et Lin J., 2006, *Ordonnancement des interventions d'un bloc opératoire avec contraintes des chirurgiens nomades*, 3ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2006.
- Guinet A. et Chaabane S., 2003, *operating theatre planning*, International Journal of Production Economics, Vol.85, p.69-81.
- Hammami S., Ladet P., Hadj Alouane A. et Ruiz A., 2006, *Une approche robuste pour la construction des plages horaires dans un bloc opératoire*, 6ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation-MOSIM'06.
- Hans E., Wullink G., Houdenhoven M. et Kazemier G., 2007, *Robust surgery loading*, European Journal of Operational Research, Vol.185, p.1038–1050.
- Jebali A., Hadj Hadj Alouane A. et Ladet P., *Operating rooms scheduling*, International Journal of Production Economics, Vol.99, pp.52-62, 2005.
- Jebali A., Ladet P. et Hadj Alouane A., 2004, *Planification du bloc opératoire : une approche par processus*, 2ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2004.
- Johnson S.M., 1954, *Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included*, Nav. Res. Log. Q., vol.1, n° 1, p.61-68.
- Kharraja S., 2004, *Outils d'aide à la planification et l'ordonnancement dans les plateaux médico-technique*, Thèse de doctorat, université Jean-Monnet, France.
- Kuo P.C., Schroeder R.A, Mahaffey S. et Bollinger R., 2003, *Optimization of operating room allocation using linear programming techniques*, The American College of Surgeons, Elsevier.
- Lamiri M., Xie X., Dolgui A. et Grimaud F., 2006, *A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery*, European Journal of Operational Research.
- Marcon.E., 2004, *Influence de l'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires sur le fonctionnement de la Salle de Soins Post-Interventionnels (SSPI)*, 2ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2004.
- Ministère de la santé et de la solidarité, 2006, *Plan blanc et gestion de crise*, Edition 2006, annexe à la circulaire n°DHOS / CGR / 2006 / 401.
- Noto R., Huguenard P. et Larcan A., 1994, *Médecine de catastrophe*, 2ème édition-Masson.
- Ozkarahan I., 2000, *Allocation of surgeries to operating rooms by goal programming*, Journal of Medical Systems, Vol 24, p. 339-378.
- Pinedo M., 2002, *Scheduling theory algorithms and systems*, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- Strum D.P., Vargas LG. et May JH, 1999, *Surgical subspecialty block utilization and capacity planning: minimal cost analysis model*, Anesthesiology, Vol.90, p.1176-85.
- Tao W. et Guinet A., 2006, *Modélisation et simulation du processus de passage des patients aux urgences à l'aide d'ARIS : Etude de cas au SAU du centre hospitalier Saint Joseph et Saint Luc*, 3ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2006.
- Trilling L., Guinet A. et Chomel P-Y, 2004, *Comparaison de méthodes et outils d'analyse : Etude d'un plateau Médico-Technique regroupé avec le cadre de modélisation ARIS*, 2ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes hospitaliers GISEH-2004.
- Wang Q. , 2004, *Modeling and analysis of high risk patient queues*, European Journal of Operational Research, pp.502-515.

Annexe

i	d_i (min)	dl_i (min)	dar_i (min)	i	d_i (min)	dl_i (min)	dar_i (min)
1	15	150	135	51	15	285	240
2	30	300	90	52	30	255	60
3	30	120	90	53	15	180	150
4	30	225	150	54	30	285	105
5	30	300	75	55	15	300	210
6	15	75	60	56	15	90	0
7	30	105	60	57	15	105	90
8	30	255	210	58	15	105	60
9	15	300	225	59	15	210	75
10	15	15	0	60	30	225	105
11	15	210	105	61	30	180	0
12	30	60	0	62	15	300	255
13	15	165	60	63	30	165	0
14	15	225	165	64	15	105	75
15	30	300	225	65	15	225	180
16	15	255	60	66	15	75	60
17	15	90	15	67	15	240	225
18	30	225	135	68	30	300	225
19	15	120	15	69	15	150	135
20	15	225	120	70	30	255	75
21	15	60	45	71	30	285	180
22	30	300	180	72	15	300	240
23	30	285	15	73	15	210	15
24	30	165	0	74	30	300	165
25	30	240	180	75	15	210	150
26	30	165	135	76	15	105	90
27	30	270	210	77	15	285	240
28	30	300	225	78	15	285	255
29	15	240	150	79	15	285	210
30	15	255	90	80	15	285	180
31	15	255	135	81	15	285	165
32	15	135	120	82	30	120	15
33	15	300	195	83	30	285	90
34	15	180	90	84	15	90	75
35	15	225	30	85	15	255	165
36	15	300	240	86	30	270	165
37	15	150	105	87	30	270	75
38	15	255	150	88	15	240	150
39	15	300	225	89	15	90	15
40	15	255	210	90	30	270	75
41	30	150	30	91	15	90	90
42	15	45	15	92	15	225	120
43	30	165	60	93	30	240	120
44	30	270	165	94	15	270	255
45	30	270	120	95	15	285	150
46	30	285	135	96	30	300	210
47	15	225	120	97	15	210	150
48	30	30	0	98	15	225	165
49	15	225	135	99	15	285	90
50	15	300	225				

Tableau 3. Dates des interventions et d'arrivées des victimes.

min : minutes

N	Victimes
25	3 ; 6 ; 7 ; 10 ; 12 ; 17 ; 21 ; 24 ; 26 ; 37 ; 76 ; 63 ; 56 ; 66 ; 42 ; 48 ; 82 ; 91 ; 57 ; 53 ; 61 ; 69 ; 84 ; 89
50	1 ; 3 ; 4 ; 6 ; 7 ; 8 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 ; 17 ; 21 ; 24 ; 76 ; 63 ; 56 ; 66 ; 32 ; 37 ; 42 ; 48 ; 82 ; 89 ; 91 ; 57 ; 53 ; 61 ; 69 ; 26 ; 84 ; 16 ; 19 ; 25 ; 27 ; 34 ; 35 ; 85 ; 92 ; 94 ; 97 ; 45 ; 40 ; 23 ; 71 ; 73 ; 58 ; 51 ; 39 ; 87 ; 98
70	10 ; 17 ; 21 ; 6 ; 24 ; 76 ; 63 ; 56 ; 66 ; 32 ; 37 ; 42 ; 48 ; 82 ; 89 ; 91 ; 3 ; 57 ; 53 ; 61 ; 12 ; 69 ; 26 ; 84 ; 7 ; 1 ; 4 ; 8 ; 11 ; 16 ; 19 ; 25 ; 27 ; 34 ; 35 ; 85 ; 92 ; 94 ; 97 ; 45 ; 40 ; 13 ; 23 ; 71 ; 73 ; 58 ; 51 ; 98 ; 87 ; 39 ; 9 ; 14 ; 29 ; 41 ; 43 ; 50 ; 80 ; 90 ; 99 ; 31 ; 60 ; 68 ; 78 ; 47 ; 33 ; 44 ; 46 ; 95 ; 96 ; 62

Tableau 4. Victimes des instances de tailles 25, 50 et 70.

R	r_1 (min)	r_2 (min)	r_3 (min)	r_4 (min)
R_1	0	0	-	-
R_2	0	0	0	-
R_3	0	0	30	-
R_4	0	0	0	0
R_5	0	0	30	60

Tableau 5. Dates d'arrivées des chirurgiens.

Le label (-) indique que la date d'arrivée du chirurgien n'est pas définie.