

Soutenance de thèse, 12 mai 2010, Université d'Artois, Béthune



*Université d'Artois*  
*Laboratoire de Génie Informatique et d'Automatique de l'Artois*



# Gestion hospitalière en situation d'exception : Optimisation des Ressources Critiques

Issam NOUAOURI

Directeur de thèse : Daniel JOLLY

Co-encadrement : Jean Christophe NICOLAS



Université Lille Nord de France  
Pôle de Recherche  
et d'Enseignement Supérieur

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques



# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## Plan

- ❖ Contexte
- ❖ Problématiques
- ❖ Dimensionnement des ressources critiques
- ❖ Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
- ❖ Mutualisation des ressources
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## Plan

- ❖ Contexte
- ❖ Problématiques
- ❖ Dimensionnement des ressources critiques
- ❖ Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
- ❖ Mutualisation des ressources
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Contexte

*Naturelle*



Cyclone de Katrina



Séisme à Haïti

*Technologique*



Explosion de l'usine AZF



Grands accidents routiers

*Attaques terroristes*



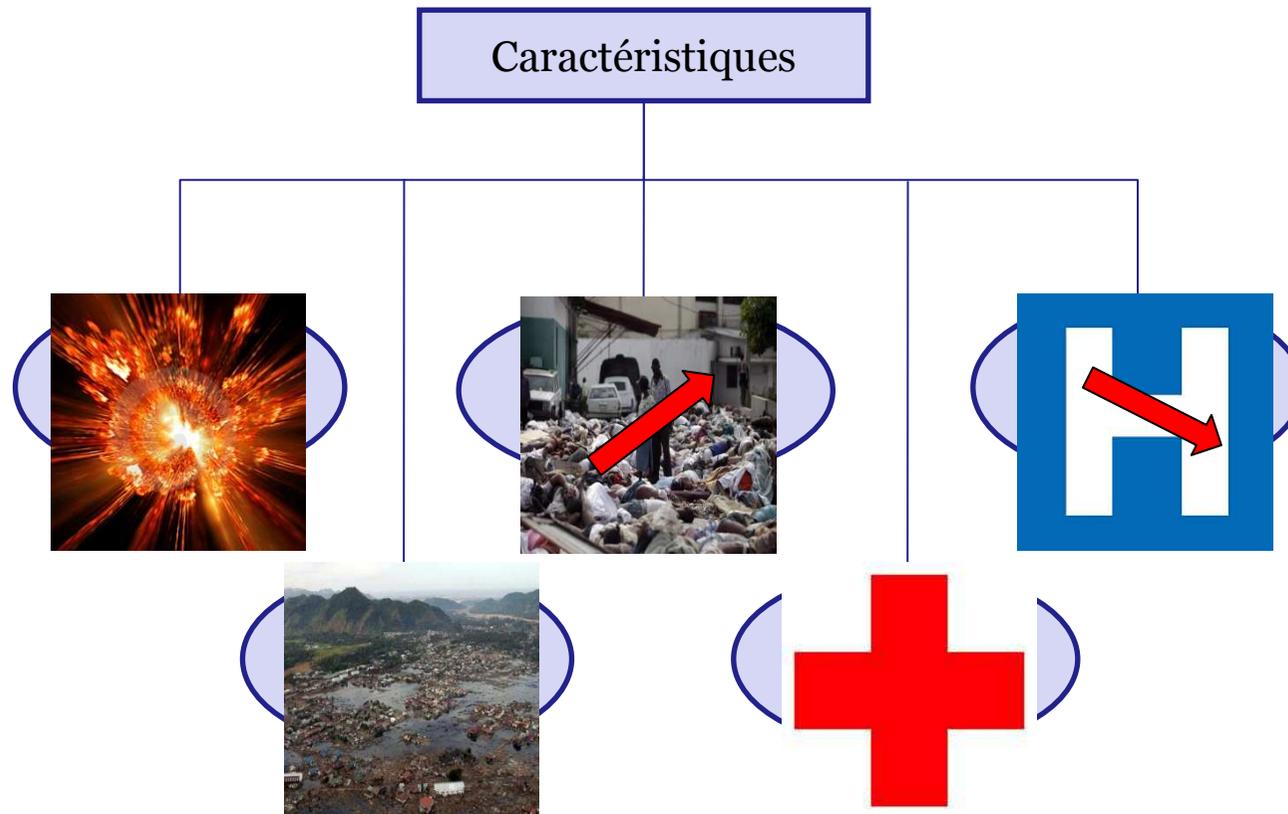
Attaques de 11 septembre



Attaques de Madrid

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

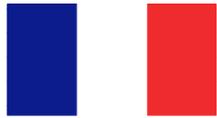
## ❖ Contexte



# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Description

*Plan d'urgence de l'hôpital*

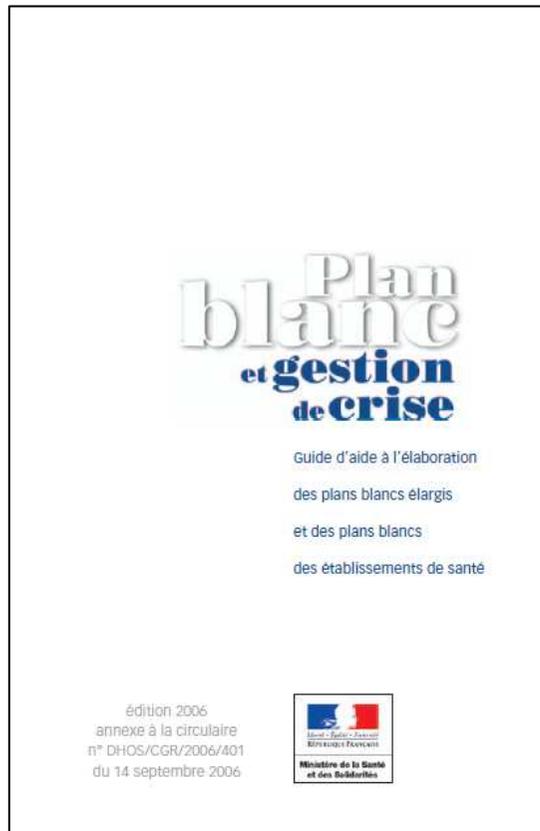


Lois ou circulaire : **Plan Blanc**

Joint Commission on the Accreditation of Healthcare Organizations : **Disaster Management Plan**

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Description



Le plan blanc -> **ensemble de procédures** qui garantissent que les établissements de santé ont des capacités mobilisables à tout moment

→ **Testé** lors des exercices de simulation

→ **Vérifier** l'organisation des ressources humaines et matérielles

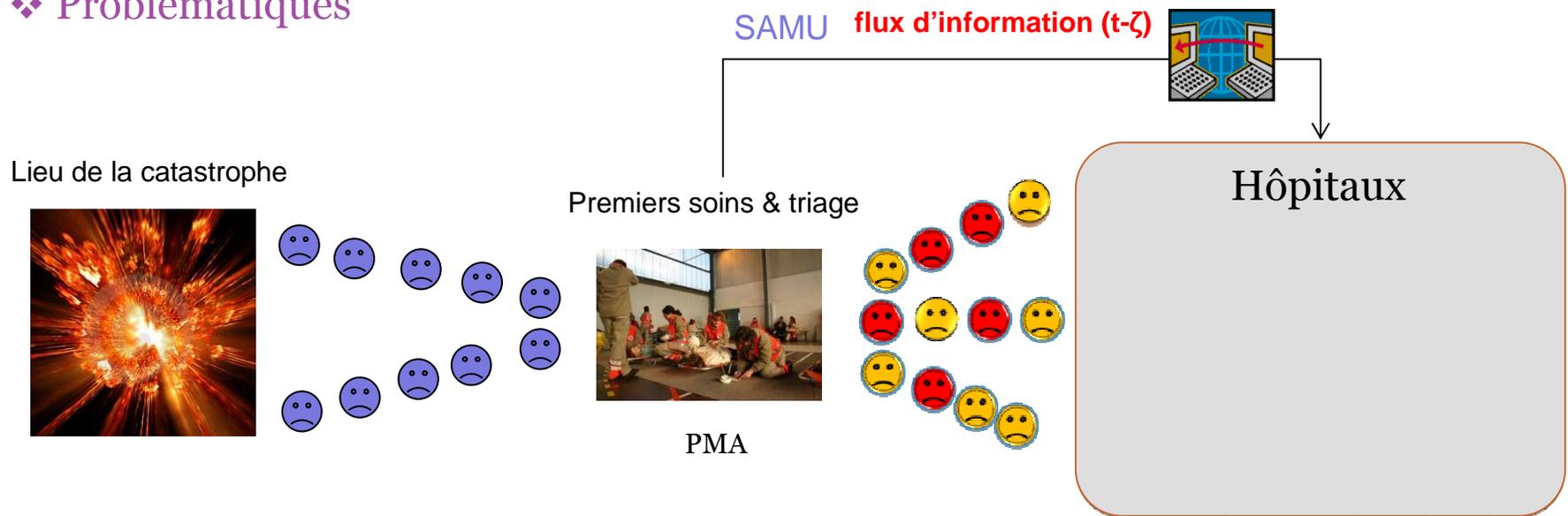
# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## Plan

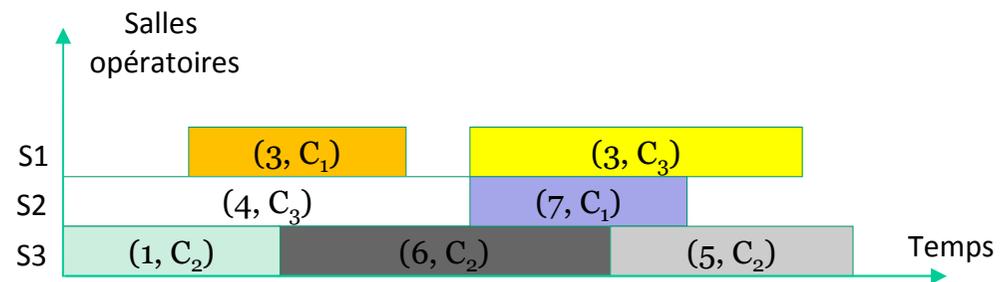
- ❖ Contexte
- ❖ **Problématiques**
- ❖ Dimensionnement des ressources critiques
- ❖ Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
- ❖ Mutualisation des ressources
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Problématiques



-  Victimes non triées
-  Urgences absolues
-  Urgences relatives



**Programme opératoire**

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Problématiques



- Un degré d'urgence
- Durée opératoire
- Date d'arrivée à l'hôpital d'accueil



*L'intervention chirurgicale doit être réalisée avant que le pronostic vital soit mis en jeu*

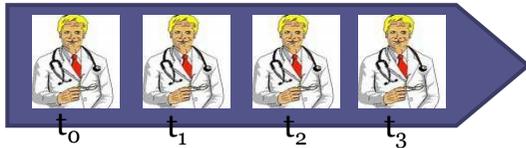
S



- Nombre de salles opératoires
- Dates d'arrivée des chirurgiens à l'hôpital d'accueil

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Problématiques



- Arrivée dynamique des chirurgiens

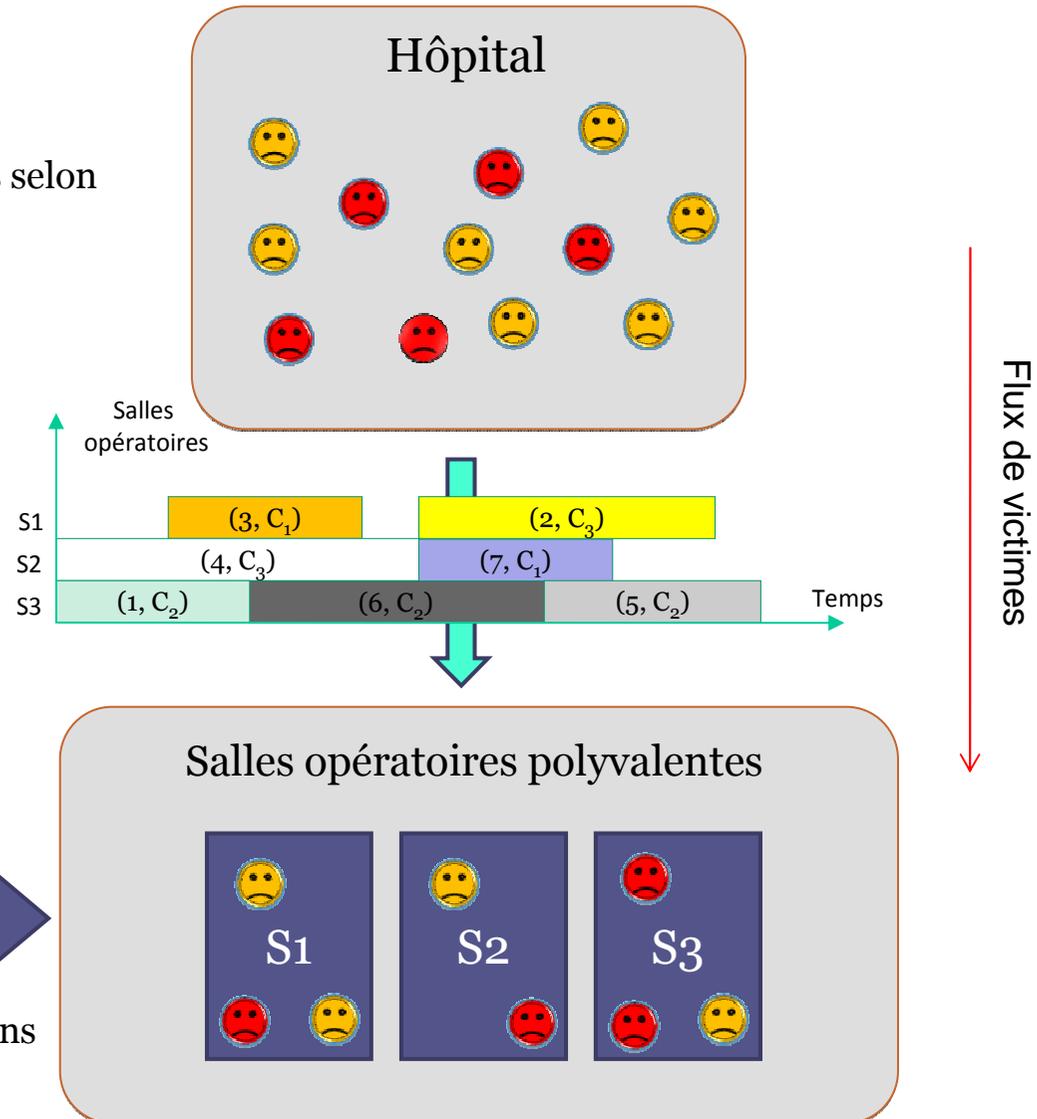
$R$	$rc_1$ (mn)	$rc_2$ (mn)	$rc_3$ (mn)	$rc_4$ (mn)	$rc_5$ (mn)	$rc_6$ (mn)	$rc_7$ (mn)	$rc_8$ (mn)	$rc_9$ (mn)	$rc_{10}$ (mn)	$rc_{11}$ (mn)
$R_l$	0	0	0	30	30	30	60	60	120	120	120

➡ Un tableau de garde en cas d'urgence, indiquant les dates d'arrivée des chirurgiens à l'hôpital.

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Problématiques

→ Victimes affectées aux salles opératoires selon le programme opératoire réalisé



# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Problématiques

### En situation d'exception



# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Problématiques

### Pourquoi les salles opératoires ?

- ➔ Ressource goulot ((Kharraja et al., 2002), (Fei et al., 2009 a), (Roland et al., 2009 a), (Hammami S. et al., 2006), (Jebali A. et al., 2004) (Jebali A. et al., 2004))
- ➔ Cas du séisme à Haïti



#### Haïti : les équipes MSF tentent de satisfaire l'immense demande en opérations chirurgicales 18 janvier 2010

Nos équipes exploitent au maximum le nombre limité de salles d'opération existantes où elles travaillent sans interruption. Par ailleurs, elles tentent d'identifier de nouveaux sites pour étendre leurs activités et ont recours à des structures mobiles.

Dans le nouvel hôpital mis en place dans le quartier Carrefour, l'équipe chirurgicale de MSF a réalisé 90 interventions chirurgicales dans les 24 heures qui ont suivi l'installation de la salle d'opération et ce, seulement deux heures après avoir identifié cette structure.

L'équipe chirurgicale de l'hôpital Choscat a quant à elle pratiqué quelque 90 opérations depuis le début de ses activités jeudi dernier. Une autre équipe travaillant dans un conteneur d'expédition en a réalisé 20. Et des moyens d'augmenter la capacité de prise en charge sont actuellement à l'étude.

Par ailleurs, l'avion-cargo acheminant l'hôpital gonflable composé de deux unités chirurgicales a été retardé en raison d'une interdiction d'atterrir à l'aéroport de Port-au-Prince. Il a été redirigé sur la République dominicaine. Si la seconde moitié de l'hôpital est bien arrivée hier, MSF craint toutefois que le matériel vital soit encore retenu.



Immense demande sur les salles opératoires

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## ❖ Conclusion

- ➡ Problème : ordonnancement
- ➡ Contexte : Situation d'exception
- ➡ Périmètre d'étude : salles opératoires
- ➡ Objectif : sauver le maximum de vies humaines

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

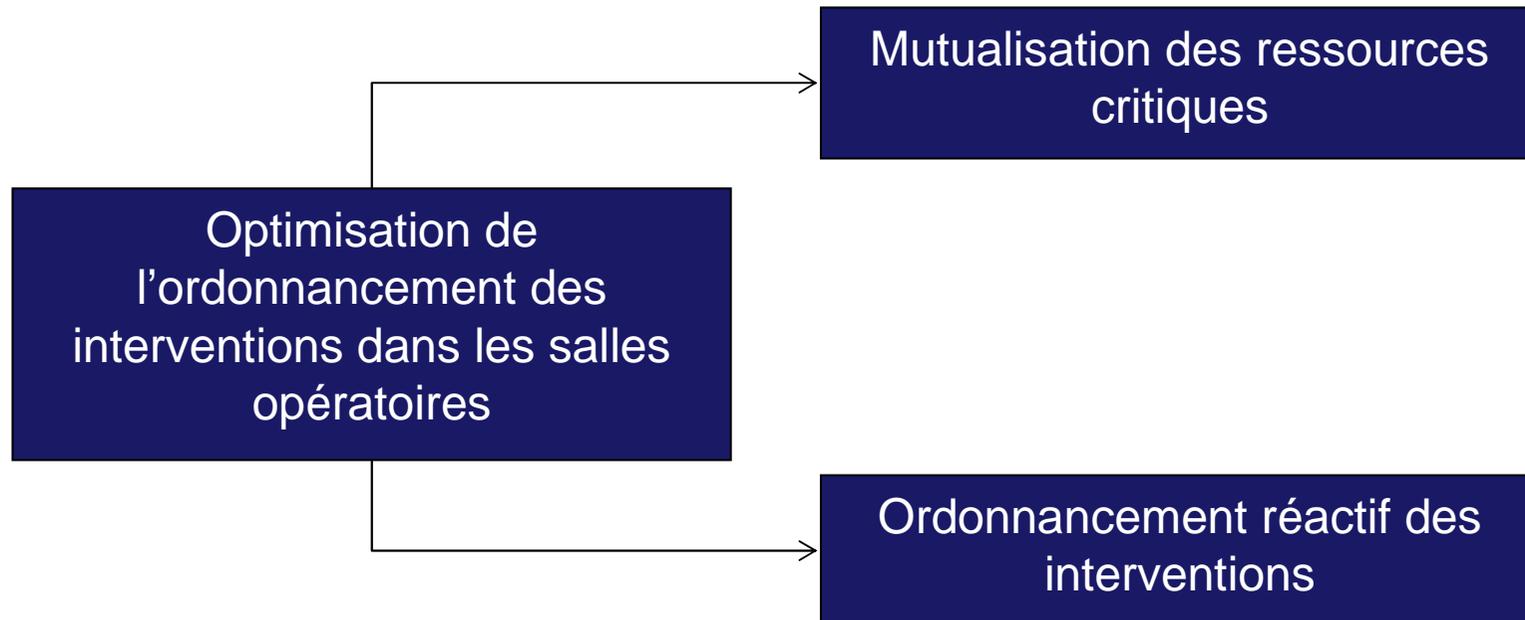
Dimensionnement des  
ressources critiques : salles  
opératoires et chirurgiens

Stratégique :  
**En amont**

Optimisation de  
l'ordonnancement des  
interventions dans les salles  
opératoires

Opérationnel :  
**En aval / En cours**

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques



# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## Plan

- ❖ Contexte
- ❖ Problématiques
- ❖ **Dimensionnement des ressources critiques**
- ❖ Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
- ❖ Mutualisation des ressources
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

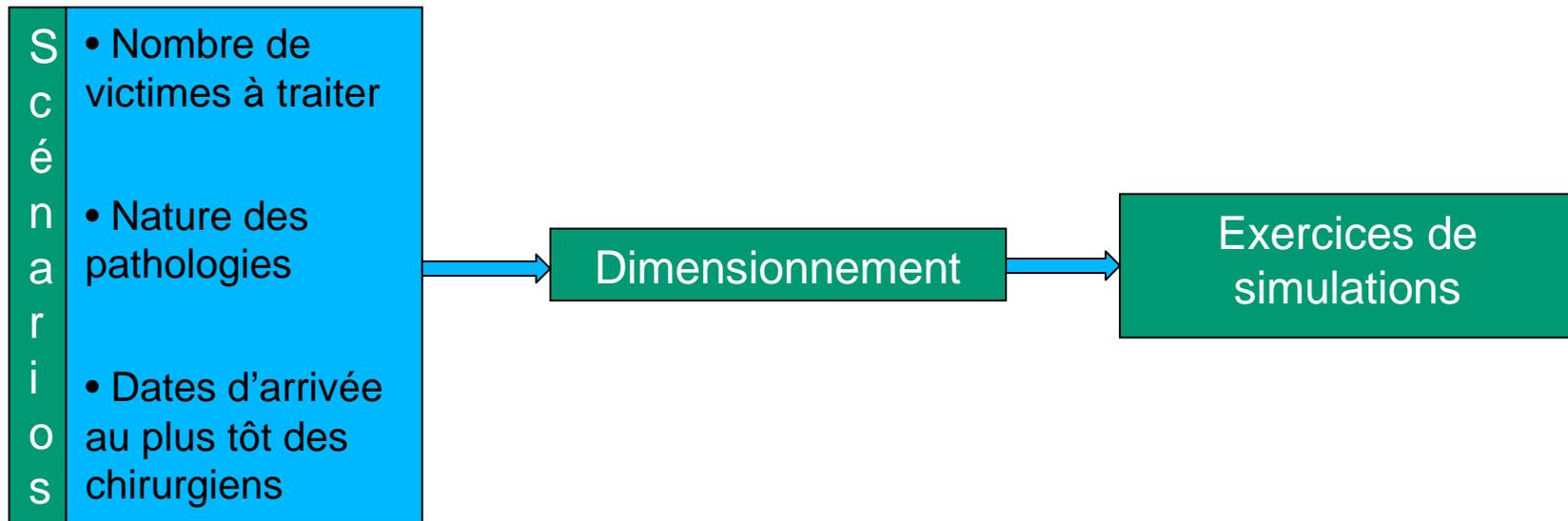
# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Problème étudié

- Dimensionner le nombre de salles opératoires nécessaires.
- Calculer les dates d'arrivée au plus tard des équipes chirurgicales pour opérer toutes les victimes.

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Problème étudié



# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Revue de la littérature

Chaines de Markov

(Kao, 1974), (Tancrez et *al.*, 2008),

Prog. Math

(Vissers, 1994), (Vissers, 1998), (Teow et Tan, 2007), (Lapierre et *al.* 1999), (Murracy, 2005), (Venkataraman et Brusco, 1996), (Kusters et Groot, 1996), (Cochran et Roche, 2009)

théorie  
des files d'attente

(Gorunescu et *al.*, 2002) (Kao et Tung, 1981) et (Mackay, 2001)

Simulation

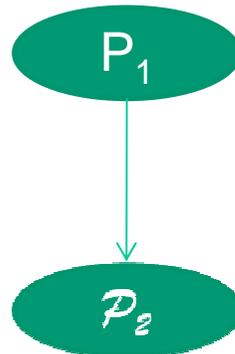
(Dumas, 1984) (Harper et Shahani, 2002) (Kim et Horowitz, 2002) (Ridge et *al.*, 1998), (Wang and *al.* 2007) (Miller et *al.*, 2004), (Dussauchoy et *al.*, 2003), (Kim et *al.*, 2000)

→ Intérêt de la programmation mathématique

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Approches de résolution

Programmation linéaire en nombres entiers :



$P_1$  : cherche l'ordonnancement optimal qui minimise le nombre de salles opératoires exploitées.

- Sous Contraintes {
- Traiter toutes les victimes
  - Satisfaire les dates d'arrivée au plus tôt des équipes chirurgicales

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Approches de résolution

Date d'arrivée	$R$	$rc_1$ (mn)	$rc_2$ (mn)	$rc_3$ (mn)	$rc_4$ (mn)	$rc_5$ (mn)	$rc_6$ (mn)	$rc_7$ (mn)	$rc_8$ (mn)	$rc_9$ (mn)	$rc_{10}$ (mn)	$rc_{11}$ (mn)
$R_I$		0	0	0	30	30	30	60	60	120	120	120

Tableau de garde en cas de catastrophe

$P_2$  : consiste à définir les dates d'arrivée au plus tard (ou les marges )

Sous Contraintes : Maintenir la solution optimale obtenue par  $P_1$

# Dimensionnement des ressources critiques

Fonction objectif /  $P_1$  : la minimisation du nombre de salles opératoires utilisées

$$\text{Minimiser } \sum_h^H NO_h$$

Sous Contraintes  $\sum_{t=0}^T \sum_{h=1}^H X_{ith} = 1 \quad \forall i \in \{1..N\}$

$$t_i - \sum_{t=0}^T \sum_h^H rc_h X_{ith} - M \left( 1 - \sum_{t=0}^T \sum_h^H X_{ith} \right) \geq 0 \quad \forall i \in \{1..N\} \quad \forall h \in \{1, H\}$$

( ..... )

# Dimensionnement des ressources critiques

Fonction objectif / P<sub>2</sub> : la maximisation des marges horaires

$$\text{Maximiser } \sum_h^H St_h$$

Sous Contraintes  $\sum_{t=0}^T \sum_{h=1}^H X_{ith} = 1 \quad \forall i \in \{1..N\}$

$$t_i - \sum_{t=0}^T \sum_h^H rl_h X_{ith} - M \left( 1 - \sum_{t=0}^T \sum_h^H X_{ith} \right) \geq 0 \quad \forall i \in \{1..N\} \quad \forall h \in \{1, H\}$$

( ..... )

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Expérimentations

Cplex solver 10.1

→ machine Bixeon® 3 GHz

→ 2-4 Go de RAM

### **Problèmes tests**

- Nombre de victimes = 25, 50 and 70
- 30 minutes  $\leq$  durée opératoire  $\leq$  2 heures
- Instance : *PN.R*

*P50.R<sub>1</sub>*

<i>R</i>	<i>rc</i> <sub>1</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>2</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>3</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>4</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>5</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>6</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>7</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>8</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>9</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>10</sub> (mn)	<i>rc</i> <sub>11</sub> (mn)
<i>R</i> <sub>1</sub>	0	0	0	30	30	30	60	60	120	120	120
<i>R</i> <sub>2</sub>	0	0	0	30	30	30	60	60	60	120	120
<i>R</i> <sub>3</sub>	0	0	0	30	30	60	60	60	120	120	120
<i>R</i> <sub>4</sub>	0	0	30	30	30	60	60	60	120	120	120
<i>R</i> <sub>5</sub>	0	0	30	30	60	60	60	120	120	120	120

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Expérimentations

### $P_1$ : Dimensionnement du nombre des salles opératoires

<i>Instances</i>	Nombre de salles opératoires		Taux d'occupation moyen des salles opératoires			
	$NO_c^*$	$C_{max}(h)$	$TM(\%)$	$CPU(s)$	$N.Cont.$	$N.Var.$
<i>P25.R<sub>1</sub></i>	5	10	67.00	0.1	63148	2104
<i>P25.R<sub>2</sub></i>	5	10	67.00	0.1	63148	2104
<i>P25.R<sub>3</sub></i>	5	10	67.00	3	63148	2104
<i>P25.R<sub>4</sub></i>	7	8.5	56.30	6.1	63148	2104
<i>P25.R<sub>5</sub></i>	7	8.5	56.30	2.5	63148	2104
<i>P50.R<sub>1</sub></i>	7	14.5	72.91	6	572845	7006
<i>P50.R<sub>2</sub></i>	7	14.5	72.91	9	572845	7006
<i>P50.R<sub>3</sub></i>	7	14.5	72.91	12	572845	7006
<i>P50.R<sub>4</sub></i>	9	12	68.52	16	572845	7006
<i>P50.R<sub>5</sub></i>	9	12	68.52	35	572845	7006
<i>P70.R<sub>1</sub></i>	10	17	59.41	73	1409158	13027
<i>P70.R<sub>2</sub></i>	10	17	59.41	112	1409158	13027
<i>P70.R<sub>3</sub></i>	10	17	59.41	140	1409158	13027
<i>P70.R<sub>4</sub></i>	11	15	61.21	148	1409158	13027
<i>P70.R<sub>5</sub></i>	11	15	61.21	176	1409158	13027

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Expérimentations

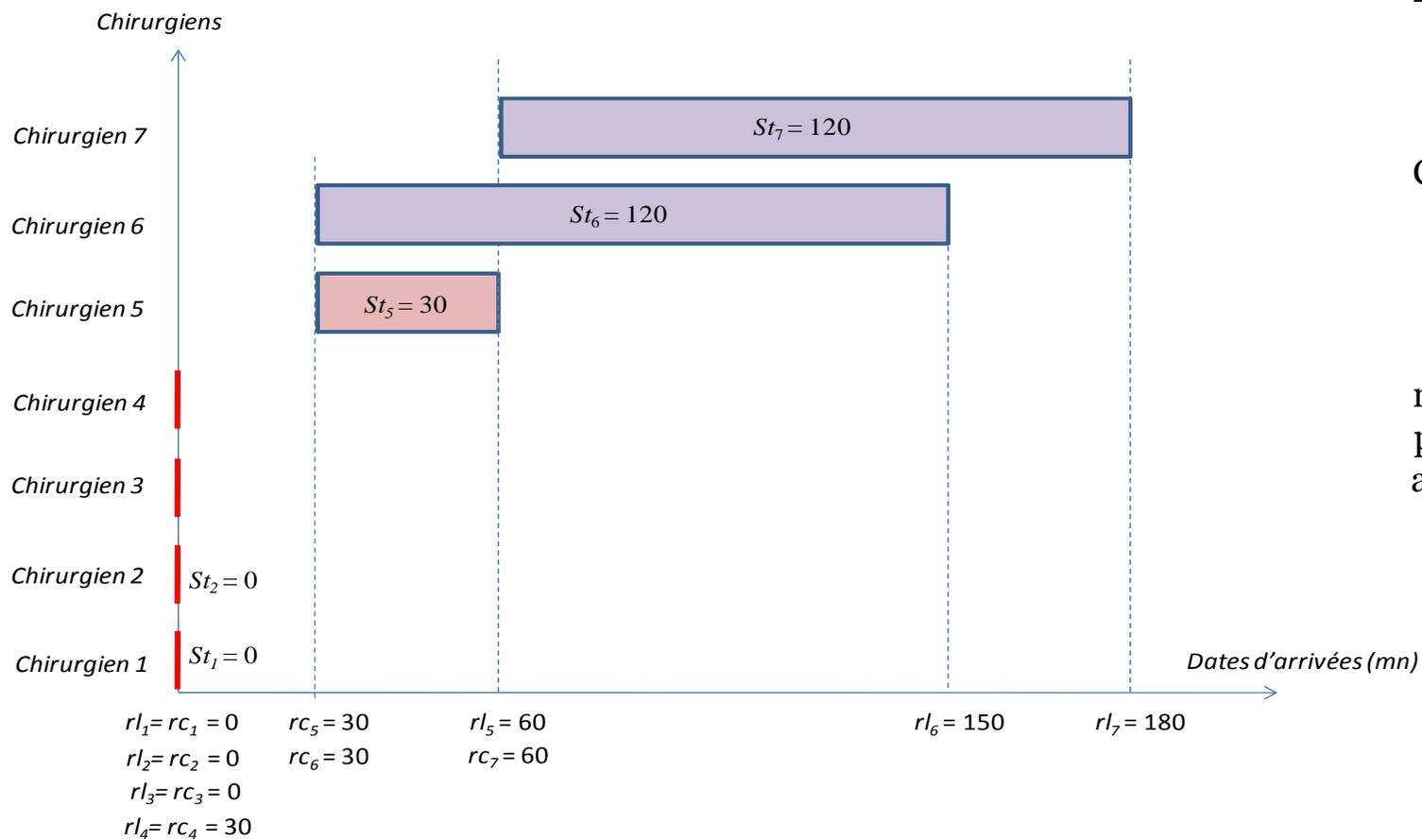
$P_2$  ; Calcul des dates d'arrivée au plus tard

<i>Instances</i>	<i>ST*</i>	<i>St<sub>c</sub></i> Marges	<i>NO<sub>c</sub>*</i>	<i>CPU</i>	<i>N.Cont.</i>	<i>N.Var.</i>
<i>P70.R<sub>1</sub></i>	420	$St_1=0, St_2=0, St_3=0,$ $St_4=0, St_5=0, St_6=120,$ $St_7=120, St_8=120,$ $St_9=150, St_{10}=240$				
<i>P70.R<sub>2</sub></i>	420	$St_1=0, St_2=0, St_3=0,$ $St_4=0, St_5=0, St_6=120,$ $St_7=120, St_8=120,$ $St_9=180, St_{10}=240$	10	19h 14 mn		
<i>P70.R<sub>3</sub></i>	390	$St_1=0, St_2=0, St_3=0,$ $St_4=0, St_5=30, St_6=120,$ $St_7=120, St_8=120,$ $St_9=180, St_{10}=240$			11463274	134764
<i>P70.R<sub>4</sub></i>	360	$St_1=0, St_2=0, St_3=0,$ $St_4=0, St_5=0, St_6=0,$ $St_7=30, St_8=30, St_9=30,$ $St_{10}=150, St_{11}=150$	11	21 h 51 mn		
<i>P70.R<sub>5</sub></i>	330	$St_1=0, St_2=0, St_3=0,$ $St_4=0, St_5=0, St_6=0,$ $St_7=30, St_8=30, St_9=60,$ $St_{10}=150, St_{11}=180$				

# Dimensionnement des ressources critiques

## ❖ Expérimentations

### Calcul des dates d'arrivée des chirurgiens au plus tard : P50.R1



—Chirurgien 7—  
 ↓  
 Chirurgien 8, 9,  
 10 ou 11  
 ↓ Et / Ou  
 Une partie du  
 retard absorbée  
 par les ch.5 et 6  
 arrivés à l'heure

# Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques

## Plan

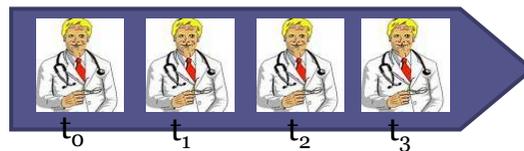
- ❖ Contexte
- ❖ Problématiques
- ❖ Dimensionnement des ressources critiques
- ❖ **Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires**
- ❖ Mutualisation des ressources
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

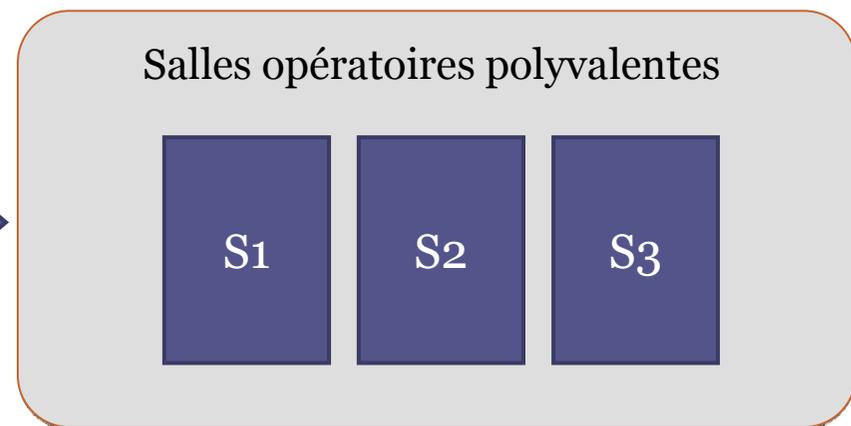
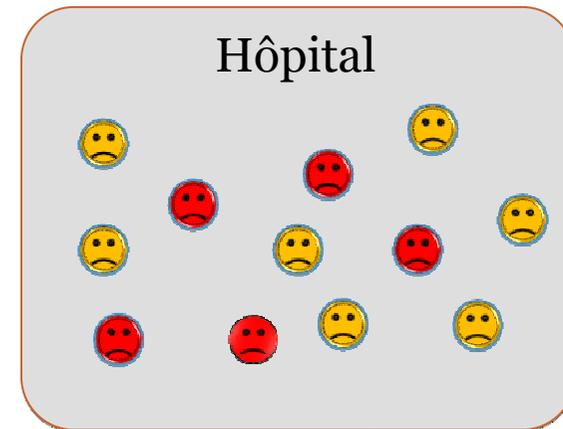
## ❖ Description

➡ Modèle de base

Chaque chirurgien est affecté à une salle opératoire



- Arrivée dynamique des chirurgiens



# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Approche de résolution

*Modélisation mathématique*

*Programme linéaire en nombres entiers*

Fonction objectif : Traiter le maximum de victimes

$$\text{Maximiser } \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^T \sum_{h=1}^{H_t} X_{ith}$$

Contraintes : de temps, de capacité...

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Approche de résolution

### Contraintes

- Une victime est affectée au plus, une seule fois pendant l'horizon  $T$ .

$$\sum_{t=0}^T \sum_{h=1}^{H_t} X_{ith} \leq 1 \quad \forall i \in \{1..N\}$$

- Le nombre d'interventions affectées à l'instant  $t$  ne dépasse pas le nombre de chirurgiens présents à l'hôpital au même instant.

$$\sum_{i=1}^N X_{ith} \leq 1 \quad \forall t \in \{0..T\} \quad \forall h \in \{1, H_t\}$$

- Pour chaque victime traitée, la date de prise en charge ne dépasse pas la date limite d'intervention.

$$t_i - dl_i \sum_{t=0}^T \sum_{h=1}^{H_t} X_{ith} - M \left(1 - \sum_{t=0}^T \sum_{h=1}^{H_t} X_{ith}\right) \leq 0 \quad \forall i \in \{1..N\}$$

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Approche de résolution

### Contraintes

- Une intervention ne peut avoir lieu que lorsque victime et chirurgien sont présents à l'hôpital.

$$t_i + M \left(1 - \sum_{t=0}^T \sum_{h=1}^{H_t} X_{ith}\right) \geq rv_i \quad \forall i \in \{1..N\}$$

$$t_i - rc_h \sum_{t=0}^T X_{ith} - M \left(1 - \sum_{t=0}^T X_{ith}\right) \geq 0 \quad \forall i \in \{1..N\} \quad \forall h \in \{1, H_t\}$$

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Expérimentations

### **Problèmes tests**

- Nombre de victimes = 25, 50 and 70
- 30 minutes  $\leq$  durée opératoire  $\leq$  2 heures
- Instance : *PN.S.R*

<b>R</b>	$rc_1$ (mn)	$rc_2$ (mn)	$rc_3$ (mn)	$rc_4$ (mn)	$rc_5$ (mn)	$rc_6$ (mn)	$rc_7$ (mn)	$rc_8$ (mn)	$rc_9$ (mn)	$rc_{10}$ (mn)	$rc_{11}$ (mn)
<i>P50.10.R<sub>1</sub></i> $R_1$	0	0	0	30	30	30	60	60	120	120	120
$R_2$	0	0	0	30	30	30	60	60	60	120	120
$R_3$	0	0	0	30	30	60	60	60	120	120	120
$R_4$	0	0	30	30	30	60	60	60	120	120	120
$R_5$	0	0	30	30	60	60	60	120	120	120	120

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Expérimentations

Problèmes tests	Tps d'exécution	Nbre des contraintes	Nbre de variables	Nbre d'itération	Fonction objectif	% victimes traitées	Durée d'ouverture des salles op.	Taux d'occupation
	<i>CPU (s)</i>	<i>N.Cont.</i>	<i>N.Var.</i>	<i>N.Iter.</i>	<i>F.Obj.1</i>	<i>P (%)</i>	<i>C<sub>max</sub>(h)</i>	<i>TO(%)</i>
<i>P25.4.R<sub>1</sub></i>	0.1	32569	2528	721	24	96	10	81.25
<i>P25.4.R<sub>4</sub></i>	0.1	32569	2528	785	23	92	10	77.5
<i>P25.6.R<sub>1</sub></i>	0.1	38677	2947	765	25	100	10.5	53.17
<i>P25.6.R<sub>3</sub></i>	0.1	38677	2947	765	25	100	10.5	53.17
<i>P25.6.R<sub>4</sub></i>	0.1	38677	2947	784	24	96	10	53.33
<i>P25.6.R<sub>5</sub></i>	0.1	38677	2947	784	24	96	10	53.33
<i>P50.4.R<sub>1</sub></i>	11	175572	4954	13415	38	76	14.5	94.82
<i>P50.4.R<sub>4</sub></i>	9	175572	4954	12366	37	74	14.5	93.10
<i>P50.6.R<sub>1</sub></i>	49	192775	5782	22816	47	94	14.5	78.73
<i>P50.6.R<sub>3</sub></i>	49	192775	5782	22816	47	94	14.5	78.73
<i>P50.6.R<sub>4</sub></i>	26	192775	5782	41589	46	92	14.5	79.88
<i>P50.6.R<sub>5</sub></i>	26	192775	5782	41589	46	92	14.5	79.88
<i>P50.8.R<sub>1</sub></i>	63	217125	6972	22722	50	100	14.5	63.79
<i>P50.8.R<sub>3</sub></i>	64	217125	6972	22722	50	100	14.5	63.79
<i>P50.8.R<sub>4</sub></i>	26	217125	6972	56496	49	98	14.5	62.06
<i>P50.8.R<sub>5</sub></i>	26	217125	6972	56496	49	98	14.5	62.06

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Expérimentations



Représentation graphique du programme détaillé des salles opératoires ( $P_{25.4.R_1}$ )

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Expérimentations

### □ Liste des victimes refusées

Problèmes tests	Numéros des victimes refusées par le programme
<i>P25.4.R<sub>1</sub></i>	20
<i>P25.4.R<sub>4</sub></i>	20; 54
<i>P25.6.R<sub>4</sub></i>	54
<i>P25.6.R<sub>5</sub></i>	54
<i>P50.4.R<sub>1</sub></i>	5; 20; 33; 43; 52; 68; 25; 47; 51; 57; 60; 62
<i>P50.4.R<sub>4</sub></i>	5; 20; 33; 37; 43; 52; 61; 68; 25; 47; 51; 62; 67
<i>P50.6.R<sub>1</sub></i>	43; 60; 62
<i>P50.6.R<sub>3</sub></i>	43; 60; 62
<i>P50.6.R<sub>4</sub></i>	20; 43; 52; 54
<i>P50.6.R<sub>5</sub></i>	20; 43; 52; 54
<i>P50.8.R<sub>4</sub></i>	37
<i>P50.8.R<sub>5</sub></i>	37
<i>P70.4.R<sub>1</sub></i>	5; 10; 15; 20; 33; 39; 43; 46; 52; 61; 68; 23; 25; 29; 47; 51; 59; 60; 62; 1; 7; 9; 11; 14; 28; 32; 34

# Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires

## ❖ Conclusion

- ➡ Détails du planning des interventions
- ➡ Victimes non retenues -> Évacuation à partir du PMA vers d'autres hôpitaux
- ➡ Aide à la décision -> Adaptation de la capacité / demande (renforcer l'équipe médicale, montage B.O modulables,...)

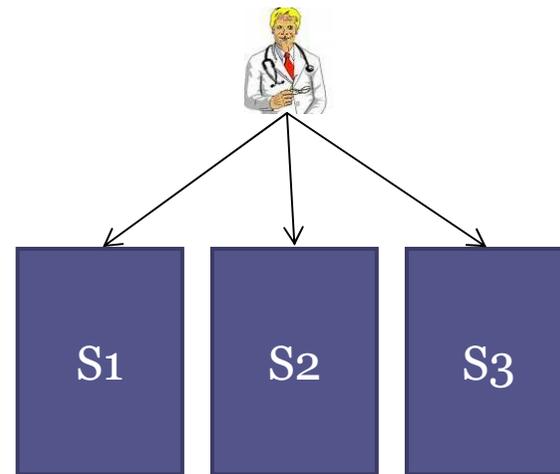
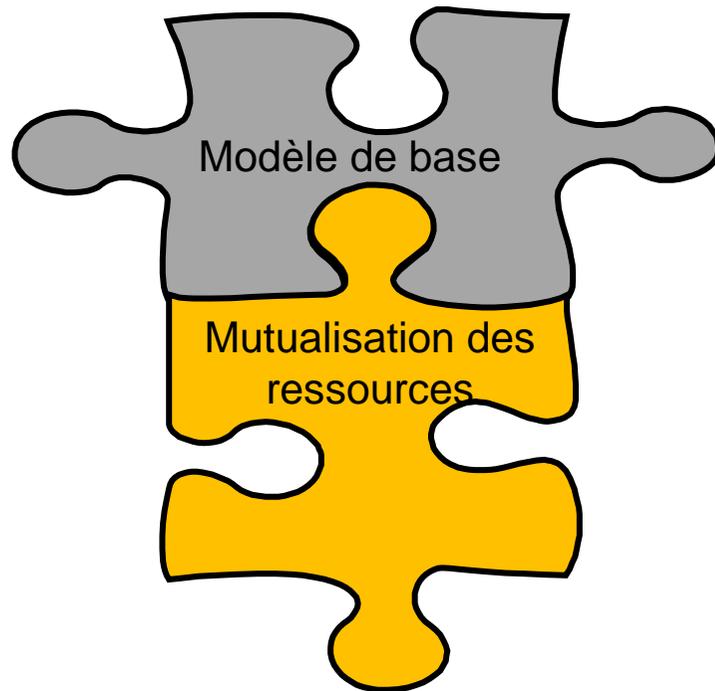
# Gestion hospitalière en situation d'exception

## Plan

- ❖ Contexte
- ❖ Problématiques
- ❖ Dimensionnement des ressources critiques
- ❖ Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
- ❖ **Mutualisation des ressources**
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Description



- Les salles opératoires peuvent être partagées entre plusieurs chirurgiens
- Les chirurgiens se déplacent d'une salle opératoire à une autre

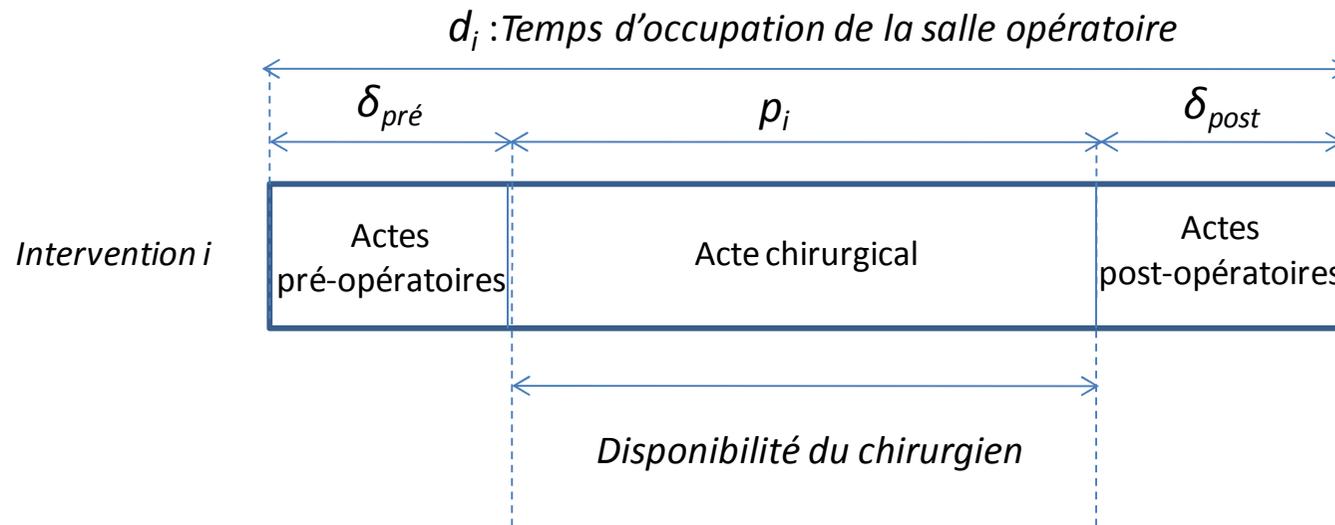
Nomadisme

Optimiser l'occupation des chirurgiens, en préparant la victime en temps masqué

# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Description

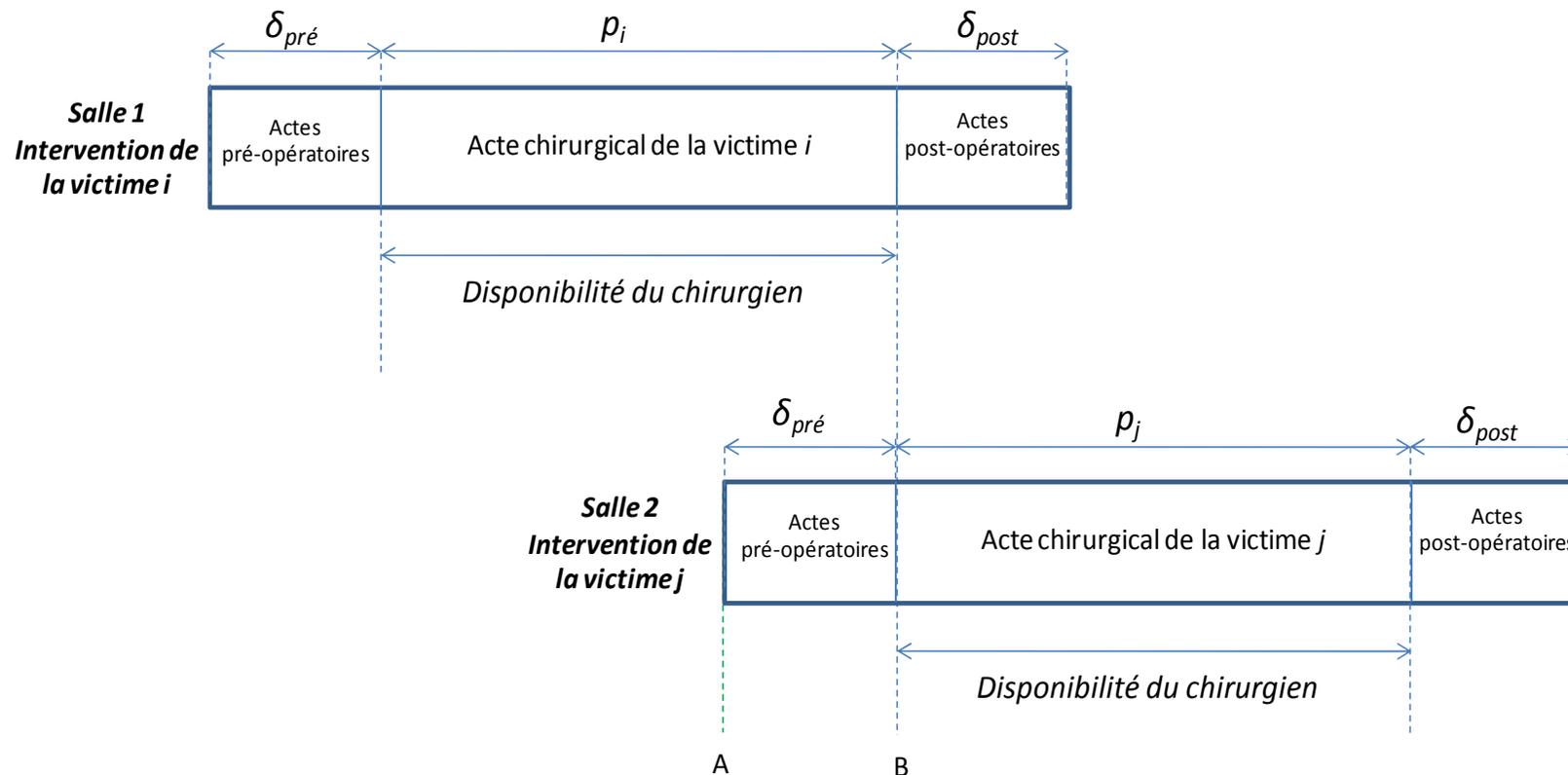
- Actes pré-opératoires : mettre en place et anesthésier la victime
- Acte chirurgical
- Actes post-opératoires : libérer et nettoyer la salle



# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Description

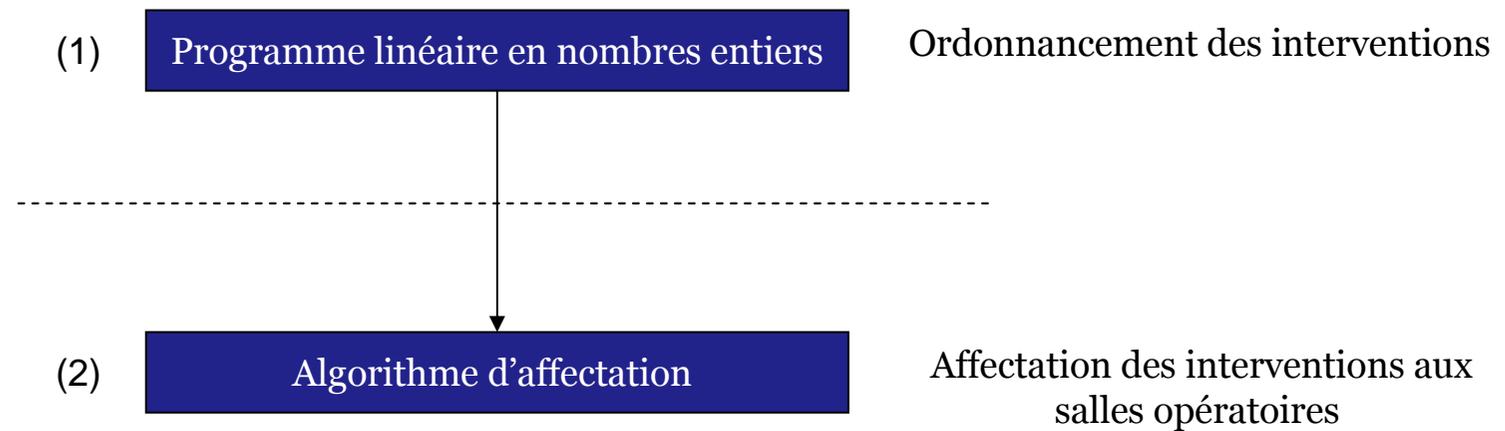
- **A** : Démarrage au plus tôt des actes pré-opératoires relatifs à l'intervention  $j$  dans la salle opératoire 2
- **B** : Départ du chirurgien  $h$  de la salle opératoire 1 pour qu'il se prépare à l'acte chirurgical de l'intervention  $j$



# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Approche de résolution

Pour réduire la complexité :



# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Approche de résolution

Fonction objectif : Traiter le maximum de victimes

$$\text{Maximiser } \sum_i^N \sum_t^T X_{it}$$

### Contraintes

- Une victime est affectée au plus, une seule fois pendant l'horizon  $T$ .

$$\sum_t^T X_{it} \leq 1$$

$$\forall i \in \{1..N\}$$

1

- A chaque instant, le nombre de salles occupées (resp. chirurgiens occupés) ne dépasse pas le nombre total  $S$  (resp.  $H_t$ ).

$$\sum_i^N n_{it} \leq S$$

$$\forall t \in \{0..T\}$$

2

# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Approche de résolution

$$\sum_i^N q_{it} \leq H_t \quad \forall t \in \{0..T\}$$

3

- Les contraintes suivantes permettent de fixer  $n_{it}$  à 1, tant qu'à l'instant  $t$ , une salle opératoire est occupée par l'intervention  $i$ .

$$\sum_{t'=t}^{t+d_i-1} n_{it'} \geq d_i X_{it} - M(1 - X_{it}) \quad \forall i \in \{1..N\} \quad \forall t \in \{rv_i..dl_i\}$$

$$\sum_t^T n_{it} \leq d_i \sum_t^T X_{it} \quad \forall i \in \{1..N\}$$

( ..... )

# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Approche de résolution

### Algorithme d'affectation

Affecter la victime au premier chirurgien et à la première salle disponible

### **Algorithme ASC1**

1/ Initialiser  $F_s = 0 \quad \forall s \in [1, S]$ ;  $G_h = 0 \quad \forall h \in [1, H]$ .

2/ Donner l'ensemble  $\varphi$

3/  $i=1, s=1, h=1$

4/ Si  $t_i = F_s$ , affecter  $i$  à la salle opératoire  $s$  :  $F_s = t_i + d_i$

4.1/ Si  $t_i + u = \max(G_h, rc_h)$ , affecter  $i$  au chirurgien  $c$ :  $G_h = t_i + d_i - \delta_{post}$ ;  $\varphi = \varphi \setminus \{i\}$ ,

Si  $\varphi = \emptyset$ , fin

Sinon,  $i=i+1$ , aller en 4/

4.2/ Sinon,  $h=h+1$ , aller en 4.1/

Sinon  $s=s+1$ , retour en 4/

# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Expérimentations

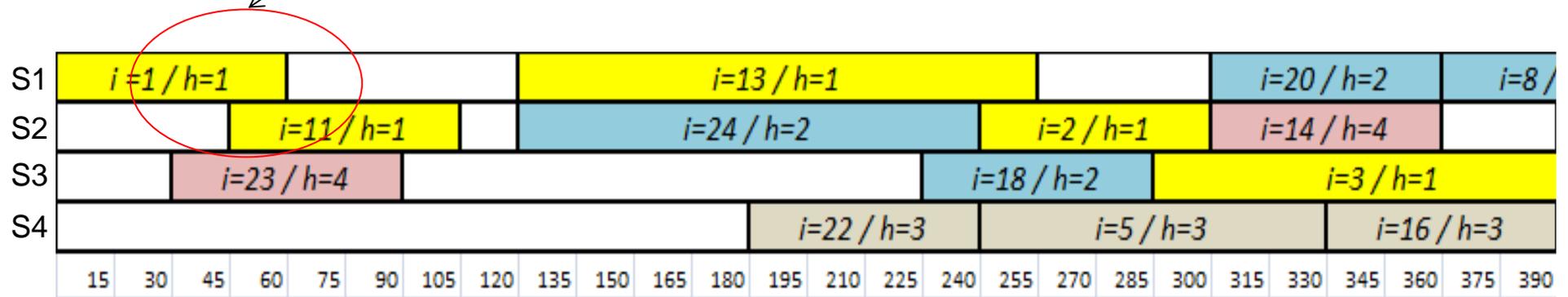
Problèmes tests	Tps d'exécution	Nbre des contraintes	Nbre de variables	Nbre d'itération	Fonction objectif	% victimes traitées	Durée d'ouverture des salles op.	Taux d'occupation	Gain
	<i>CPU</i> (s)	<i>N.Cont.</i>	<i>N.Var.</i>	<i>N.Iter.</i>	<i>F.Obj.2</i>	<i>P(%)</i>	<i>C<sub>max</sub>(h)</i>	<i>TON(%)</i>	<i>GN(%)</i>
<i>P25.4.R<sub>1</sub></i>	0.01	6841	5073	4289	25	100	12	69.79	4,2
<i>P25.4.R<sub>4</sub></i>	0.01	6841	5073	5427	25	100	12.5	67.00	8,3
<i>P50.4.R<sub>1</sub></i>	42	17519	12571	9255	41	82	13.75	90.16	12,5
<i>P50.4.R<sub>4</sub></i>	38	17519	12571	9422	41	82	15.25	89.52	16,7
<i>P50.6.R<sub>1</sub></i>	56	17519	12571	6875	50	100	14.5	85.05	12,5
<i>P50.6.R<sub>3</sub></i>	35	17519	12571	6145	50	100	15	82.22	12,5
<i>P50.6.R<sub>4</sub></i>	72	17519	12571	12577	50	100	14	88.09	16,7
<i>P50.6.R<sub>5</sub></i>	81	17519	12571	12577	50	100	14	88.09	16,7
<i>P70.4.R<sub>1</sub></i>	104	24484	20583	18962	46	66	15.5	96.12	12,5
<i>P70.4.R<sub>4</sub></i>	95	24484	20583	13369	46	66	16	96.87	16,7
<i>P70.6.R<sub>1</sub></i>	1378	24484	20583	153041	61	87	15.5	87.12	25

CPU = 4 minutes en moyenne

# Mutualisation des ressources critiques : mono-acte chirurgical

## ❖ Expérimentations

Chirurgien 1 passe de la **salle 1** à la **salle 2**

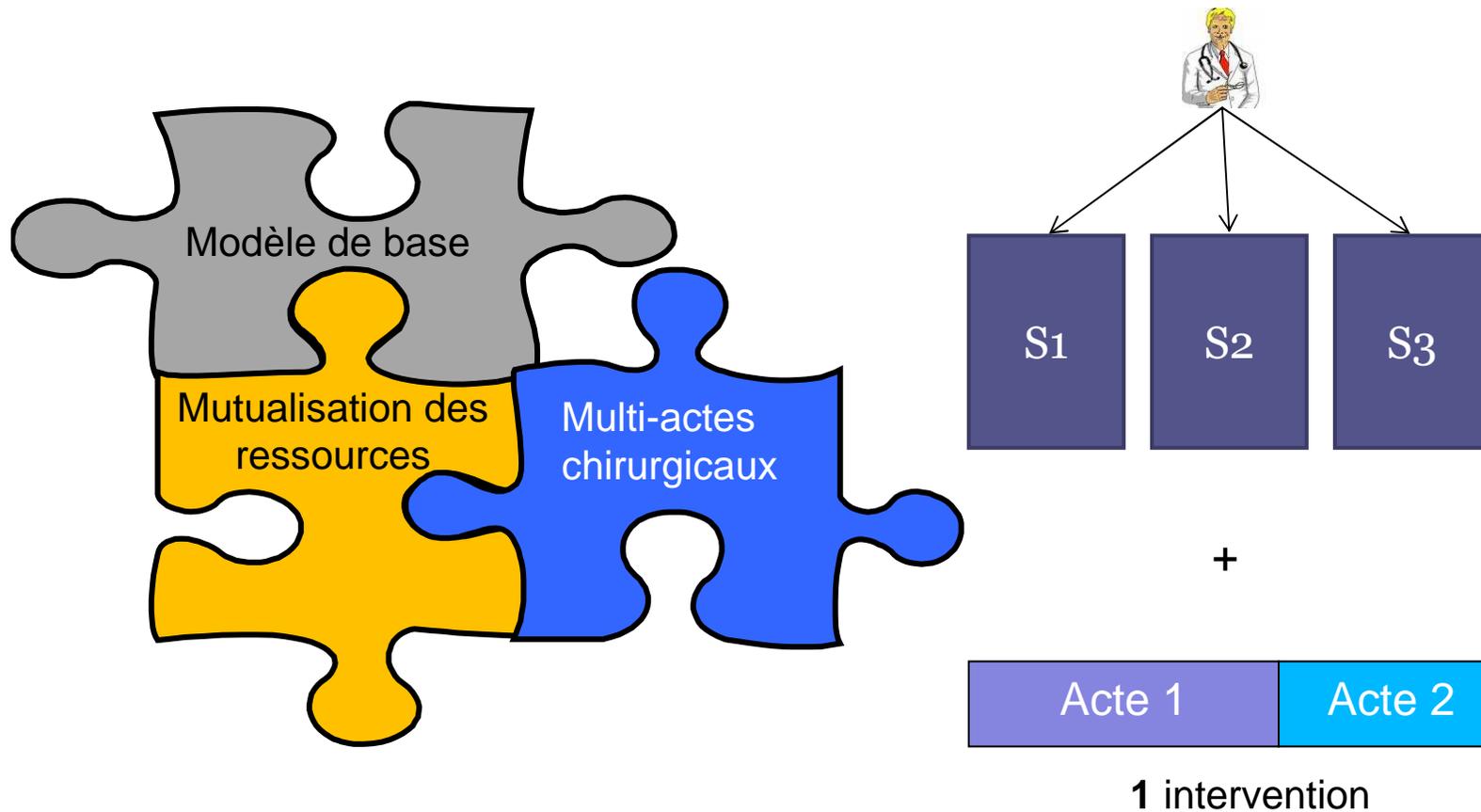


Représentation graphique du programme détaillé des salles opératoires ( $P_{25.4.R_i}$ )

- Chirurgien 1
- Chirurgien 2
- Chirurgien 3
- Chirurgien 4

# Mutualisation des ressources critiques : multi-actes chirurgicaux

## ❖ Description



# Mutualisation des ressources critiques : multi-actes chirurgicaux

## ❖ Description

*Exemple* : une évacuation d'un hématome sous-dural et une réduction ostéosynthèse d'une fracture du genou.

Un chirurgien pourrait changer de salle pour rejoindre un autre chirurgien et opérer ainsi simultanément la même victime dont l'état nécessite plusieurs actes chirurgicaux.

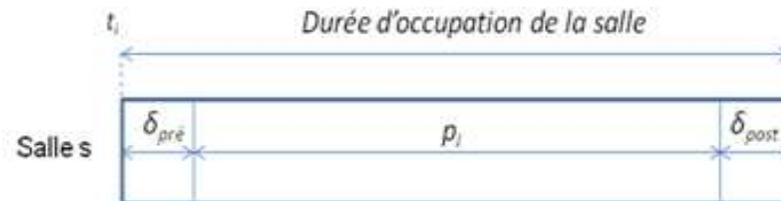
→ **réduire** la durée totale d'une intervention, ce qui permet de libérer la salle opératoire au plus tôt.

→ **prise en charge** de **plus** de victimes

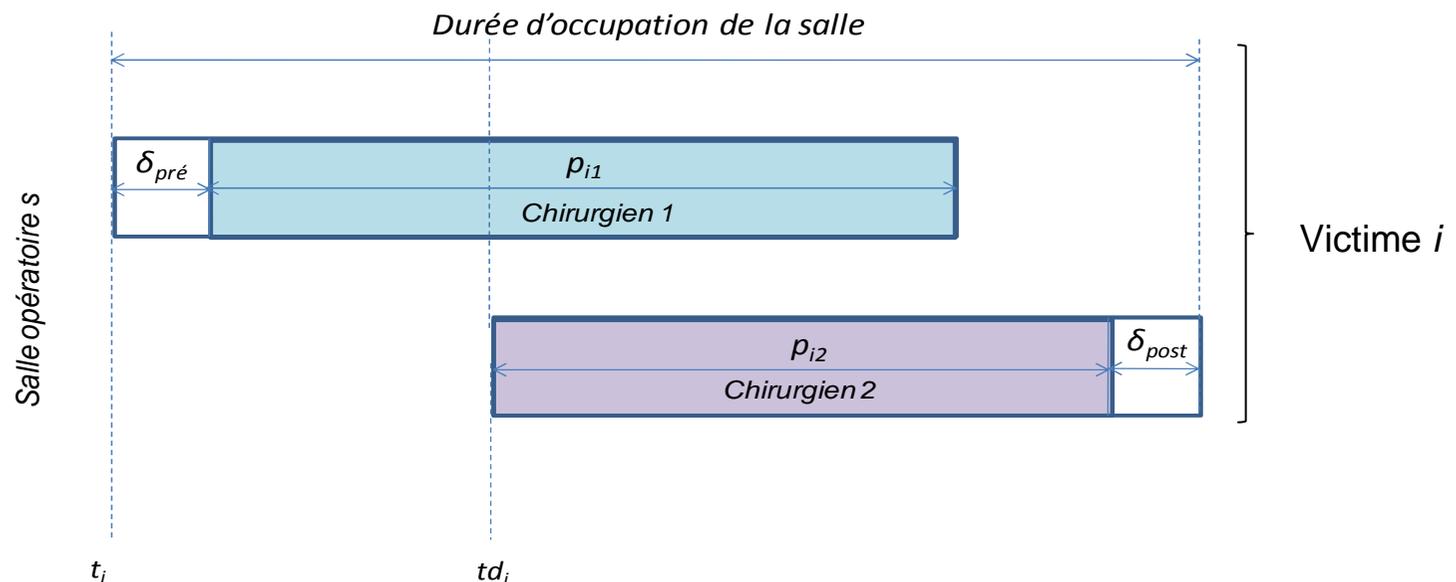
# Mutualisation des ressources critiques : multi-actes chirurgicaux

## ❖ Description

- Une intervention avec 1 seul acte chirurgical

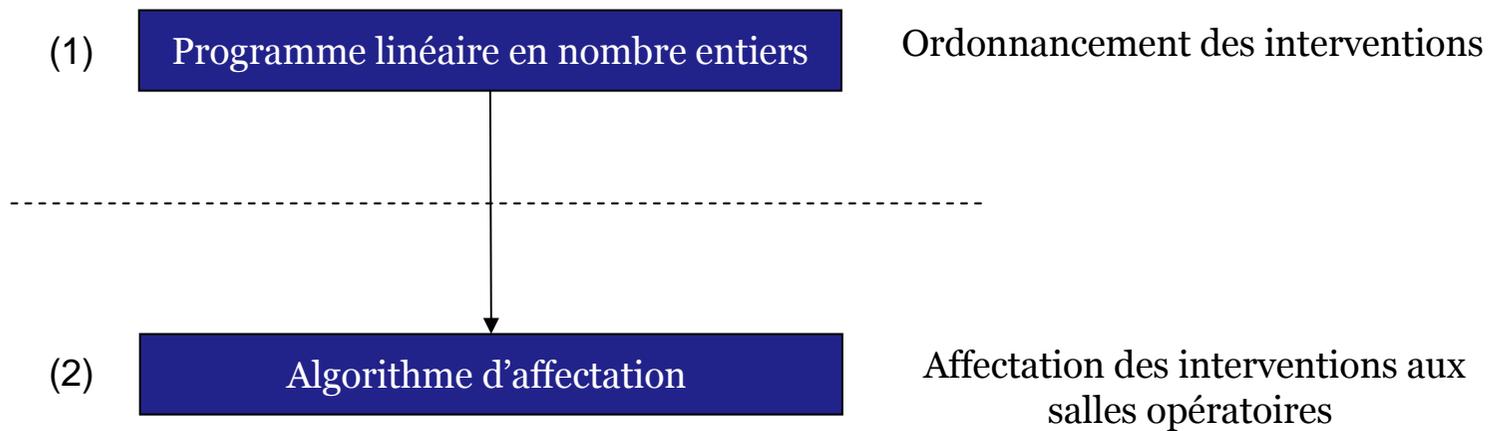


- Une intervention avec 2 actes chirurgicaux



# Mutualisation des ressources critiques : multi-actes chirurgicaux

## ❖ Approche de résolution



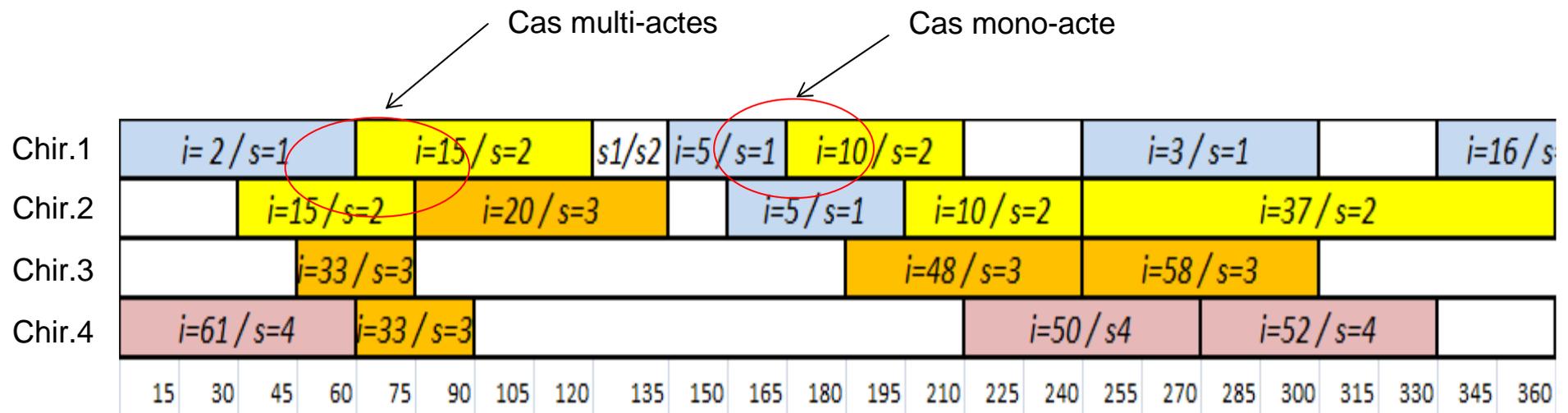
# Mutualisation des ressources critiques : multi-actes chirurgicaux

## ❖ Expérimentations

Problèmes tests	Tps d'exécution	Nbre des contraintes	Nbre de variables	Nbre d'itération	Fonction objectif	% victimes traitées	Durée d'ouverture des salles op.	Taux d'occupation	Gain / mono-acte	Gain / Pb de base
	<i>CPU</i> (s)	<i>N.Cont.</i>	<i>N.Var.</i>	<i>N.Iter.</i>	<i>F.Obj.3</i>	<i>P(%)</i>	<i>C<sub>max</sub>(h)</i>	<i>TOM(%)</i>	<i>GM(%)</i>	<i>GNM(%)</i>
<i>P25.4.R<sub>1</sub></i>	3	7593	6891	6154	25	100	11.25	63.18	-	4
<i>P25.4.R<sub>4</sub></i>	4	7593	6891	6758	25	100	11.5	64.58	-	9
<i>P50.4.R<sub>1</sub></i>	20	21847	15853	9583	50	100	13.75	79.71	22	32
<i>P50.4.R<sub>4</sub></i>	23	21847	15853	9678	50	100	13.75	79.71	22	35
<i>P50.6.R<sub>1</sub></i>	48	21847	15853	15896	50	100	14.75	76.92	-	6
<i>P50.6.R<sub>3</sub></i>	18	21847	15853	8576	50	100	13.75	71.70	-	6
<i>P50.6.R<sub>4</sub></i>	51	21847	15853	17580	50	100	13.75	71.70	-	9
<i>P50.6.R<sub>5</sub></i>	42	21847	15853	16247	50	100	13.75	71.70	-	9
<i>P70.4.R<sub>1</sub></i>	220	30871	27476	39541	60	86	15.25	92.64	30	40
<i>P70.4.R<sub>4</sub></i>	452	30871	27476	52548	60	86	16	97.19	30	43
<i>P70.6.R<sub>1</sub></i>	76	30871	27476	21583	70	100	14	76.87	15	27

# Mutualisation des ressources critiques : multi-actes chirurgicaux

## ❖ Expérimentations



Représentation graphique du programme détaillé des chirurgiens ( $P_{25.4.R_1}$ )

- Salle op. 1
- Salle op. 2
- Salle op. 3
- Salle op. 4

# Mutualisation des ressources critiques : multi-actes chirurgicaux

## ❖ Conclusion

- ❑ **Réduire** la **durée** totale d'une intervention multi-actes → **libérer** la salle opératoire **plus tôt**
- ❑ **Traiter 100%** des victimes dans **89% des cas** en recourant uniquement aux moyens disponibles à l'instant de la catastrophe.

# Gestion hospitalière en situation d'exception

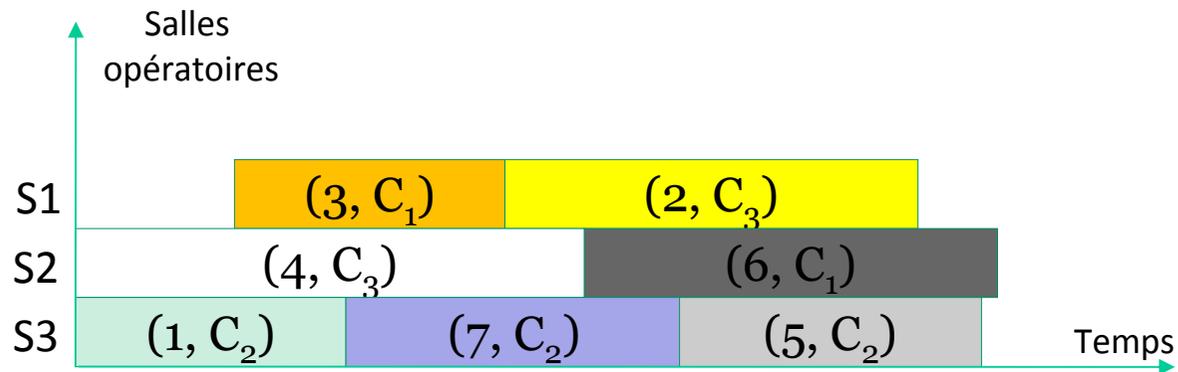
## Plan

- ❖ Contexte
- ❖ Problématiques
- ❖ Dimensionnement des ressources critiques
- ❖ Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
- ❖ Mutualisation des ressources
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

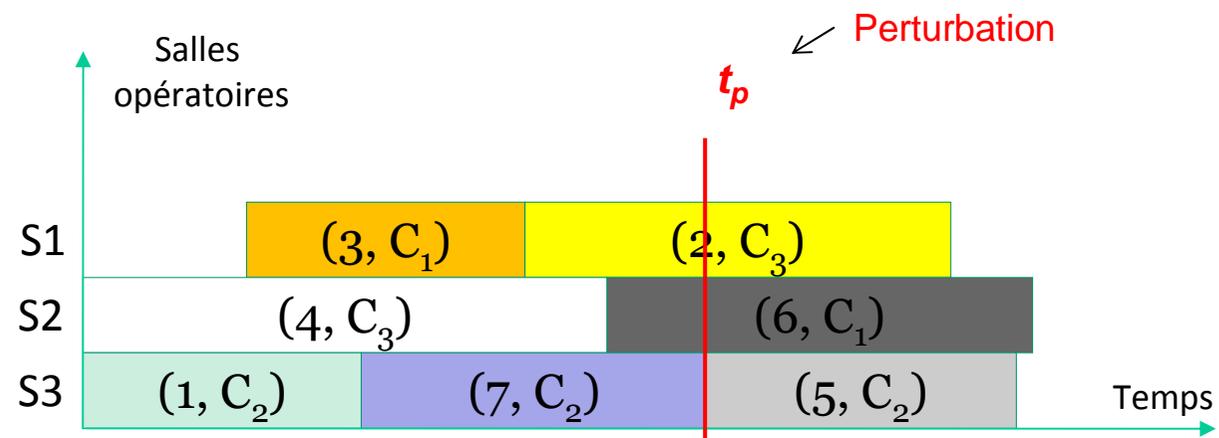
# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Description

### ▪ Programme opératoire à $t = t_0$

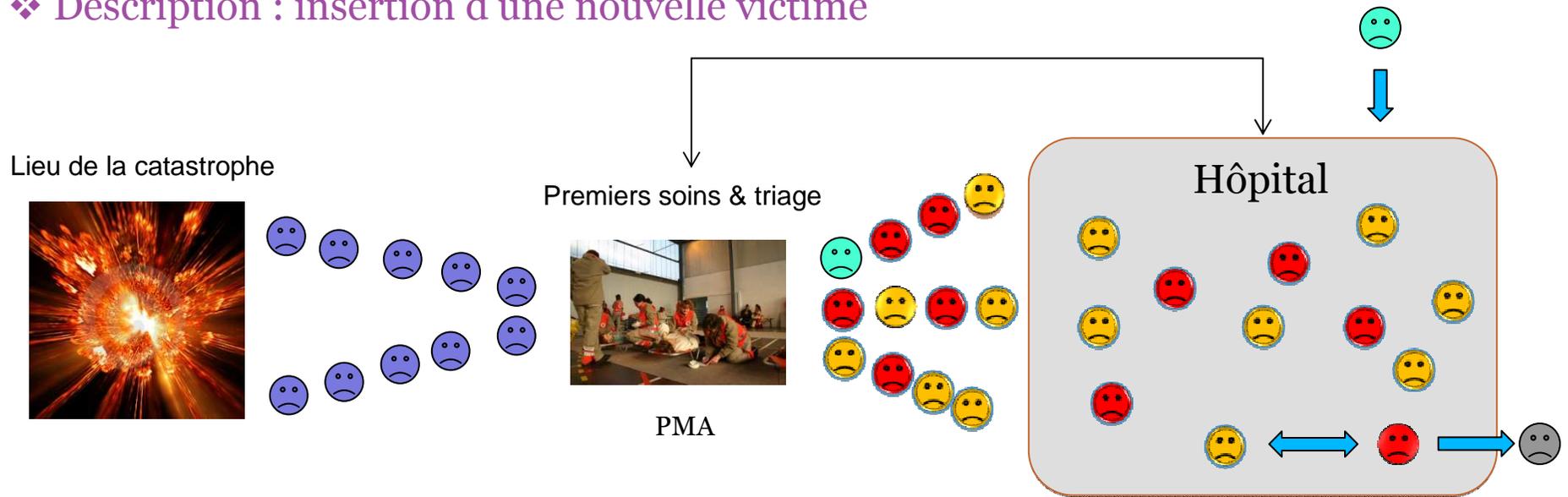


### ▪ A $t = t_p$



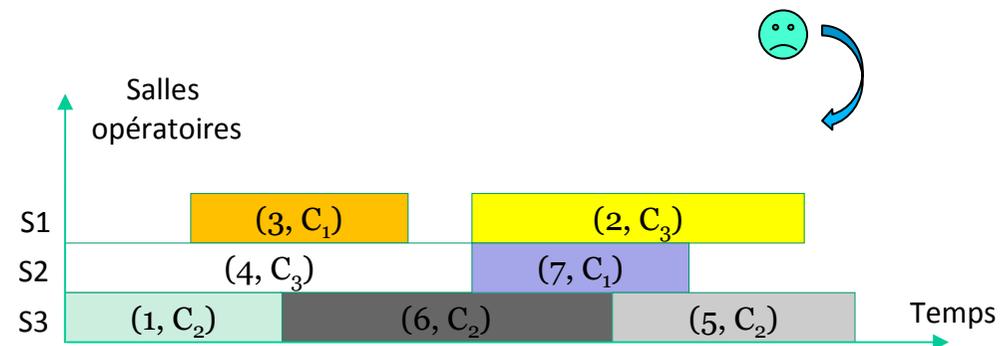
# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Description : insertion d'une nouvelle victime



 Arrivée d'une nouvelle victime

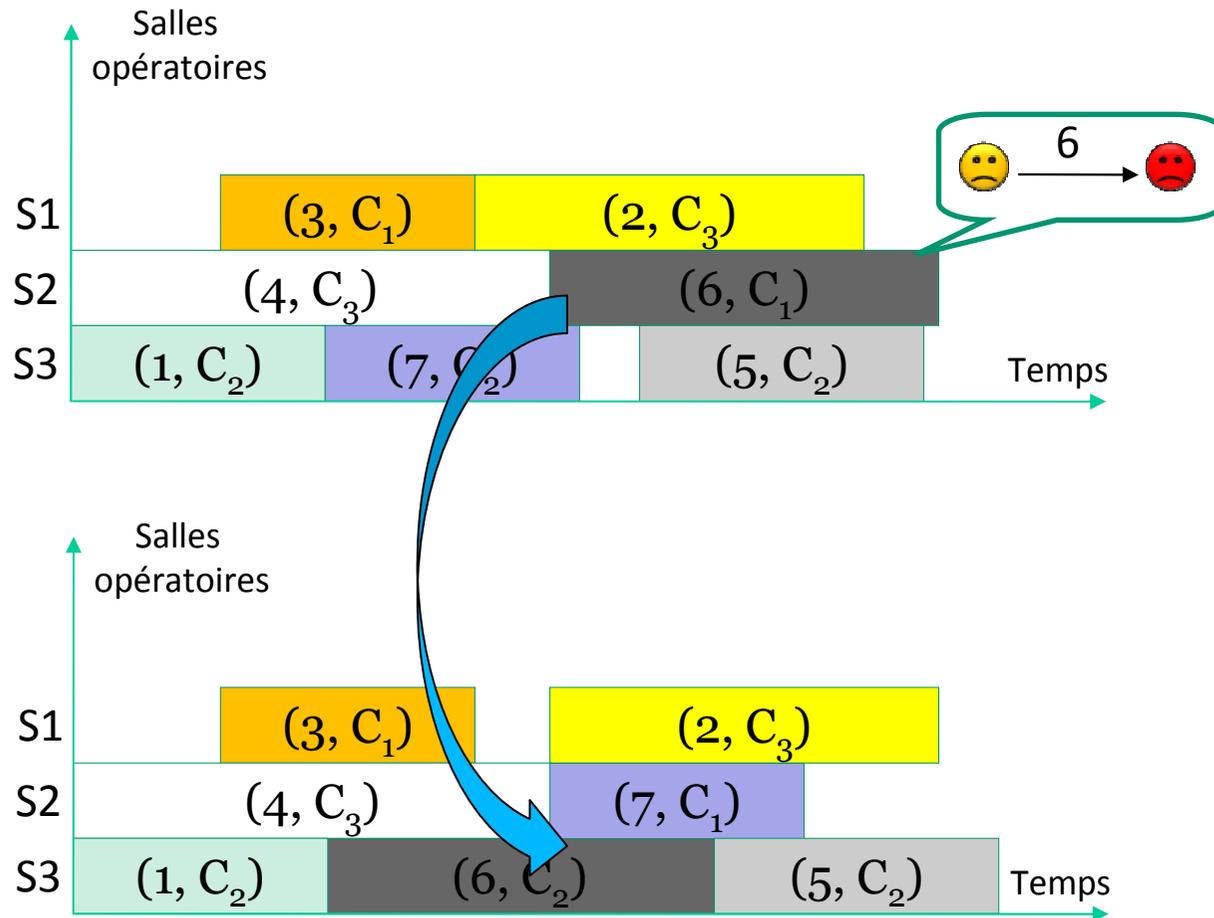
 Urgences dépassées



**Programme opératoire**

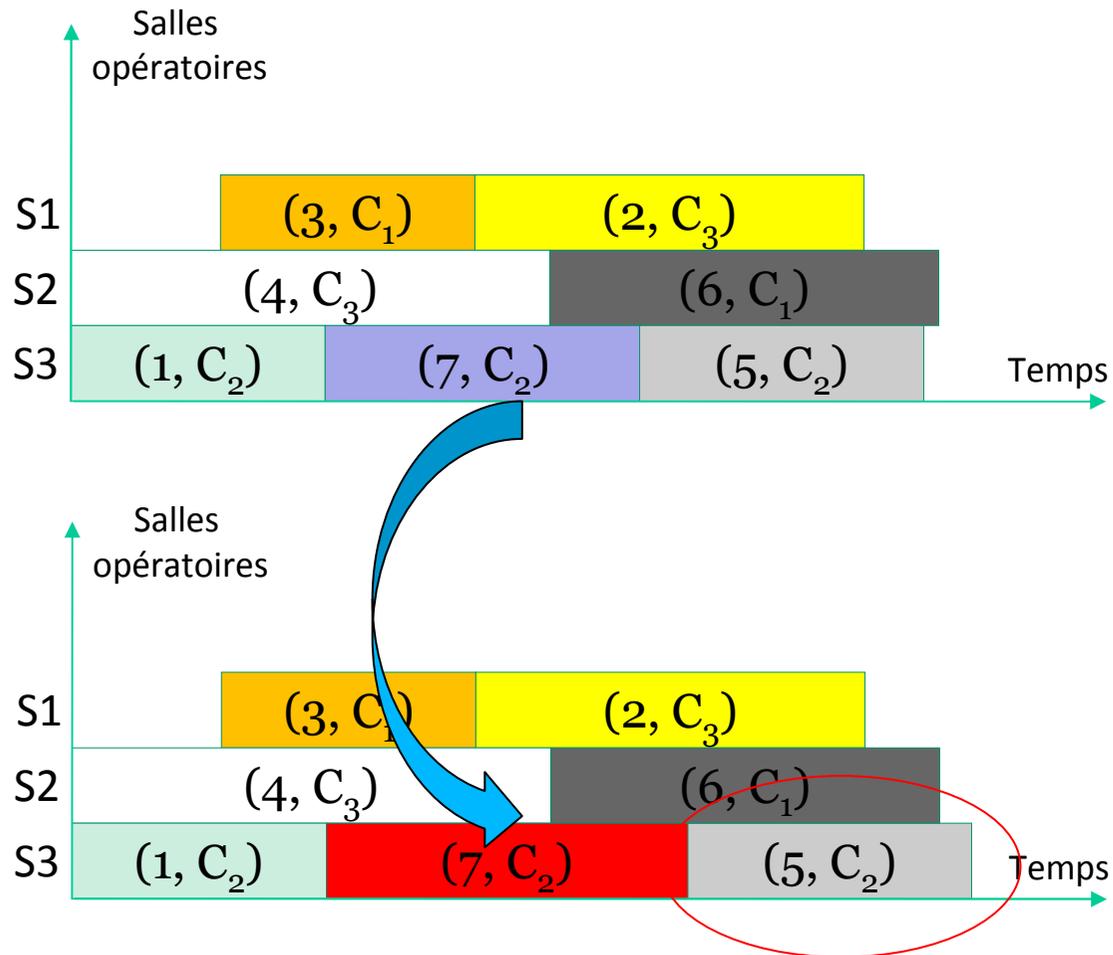
# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Description : évolution du degré d'urgence



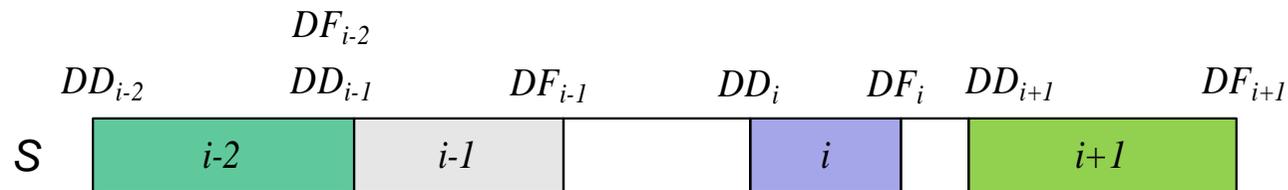
# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Description : sous-estimation d'une durée opératoire



# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Approche de résolution



$$\Delta g_s = \sum_i^N \Delta_i \quad : \text{marge libre}$$

$$\Delta_i = DF_{\text{-tard}_i} - DF_{\text{-tôt}_i}$$

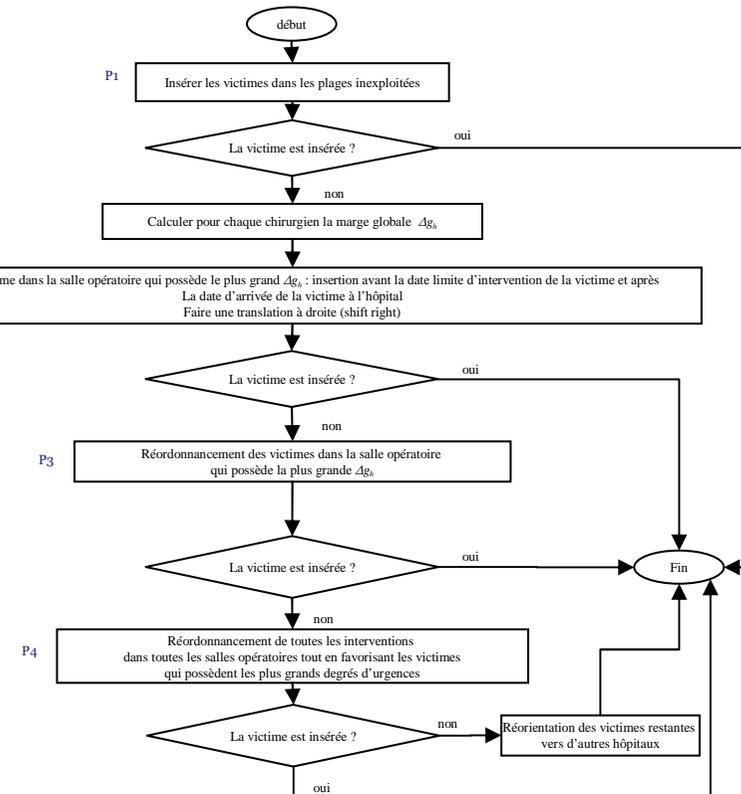
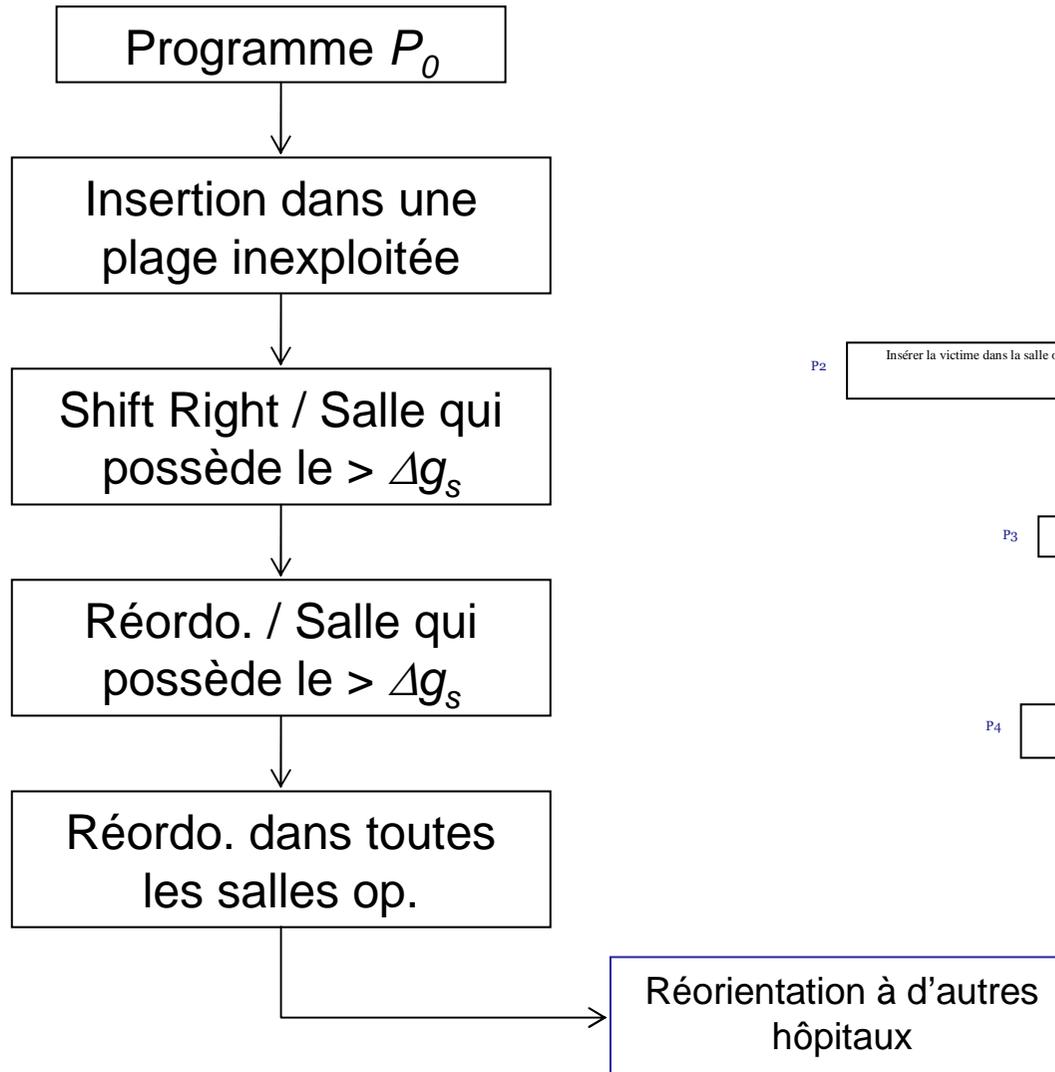
$$DF_{\text{-tard}_i} = \min(dl_i + d_i, DD_{i+1})$$

$$DF_{\text{-tôt}_i} = DF_{i-1} + d_i$$

# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## Insertion d'une nouvelle victime

# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations



# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Expérimentations

### ▪ 300 scénarios

- Nombre de victimes
- Dates d'arrivée des chirurgiens
- Perturbations

<i>Types de perturbation</i>	<i>Paramètres</i>
<i>Nouvelle victime à insérer dans le programme opératoire</i>	Date d'arrivée $rv_i$ Date limite d'intervention $dl_i$ Durée opératoire $d_i$ Date de la perturbation $t_p$
<i>Dégradation de l'état d'une victime</i>	Date limite d'intervention $dl_i$ Date de la perturbation $t_p$
<i>Sous estimation d'une durée opératoire</i>	Durée opératoire $d_i$ (suite à un retard R)

# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Expérimentations

### Insertion d'une nouvelle victime

Instances	% des victimes traitées					% des victimes traitées par $P_i$		% d'occupation des salles	
	V.I (%)	V.I.P1(%)	V.I.P2(%)	V.I.P3(%)	V.I.P4(%)	Temps de calcul		TO(%)	
						Tmin (s)	Tmax (s)		
<i>P25.4.R<sub>1</sub></i>	25	5	0	10	10	26	295	81.25	
<i>P25.6.R<sub>3</sub></i>	85	10	5	35	30	47	352	53.17	
<i>P25.6.R<sub>5</sub></i>	80	10	5	40	25	43	281	53.33	
<i>P50.4.R<sub>1</sub></i>	10	0	0	0	10	524	682	94.82	
<i>P50.6.R<sub>3</sub></i>	25	0	0	0	25	609	752	78.73	
<i>P50.8.R<sub>3</sub></i>	90	15	10	40	25	43	350	63.79	
<i>P70.4.R<sub>1</sub></i>	15	0	0	0	15	869	973	98.30	
<i>P70.6.R<sub>3</sub></i>	35	0	0	5	30	826	1239	85.55	
<i>P70.10.R<sub>3</sub></i>	70	5	0	25	40	76	1120	59.41	
<b>Moyenne</b>	<b>48</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>340</b>	<b>672</b>		

# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Expérimentations

### Evolution des degrés d'urgences

Instances	↓ % des victimes traitées	← % des victimes traitées par P <sub>i</sub>				↓ % d'occupation des salles		TO(%)
	V.D (%)	V.D.P1(%)	V.D.P2(%)	V.D.P3(%)	V.D.P4(%)	Temps de calcul		
						Tmin (s)	Tmax (s)	
P25.4.R <sub>1</sub>	60	0	0	15	45	41	752	81.25
P25.6.R <sub>3</sub>	100	5	0	45	50	56	425	53.17
P25.6.R <sub>5</sub>	100	5	0	45	50	116	786	53.33
P50.4.R <sub>1</sub>	45	0	0	10	35	204	851	94.82
P50.6.R <sub>3</sub>	40	0	0	15	25	324	854	78.73
P50.8.R <sub>3</sub>	85	0	0	35	45	107	293	63.79
P70.4.R <sub>1</sub>	60	0	0	20	40	690	1158	98.30
P70.6.R <sub>3</sub>	65	0	0	20	45	462	1267	85.55
P70.10.R <sub>3</sub>	85	5	0	40	40	179	1143	59.41
<b>Moyenne</b>	<b>71</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>42</b>	<b>242</b>	<b>837</b>	

# L'ordonnancement des interventions dans les salles opératoires avec prise en compte des perturbations

## ❖ Expérimentations

### Sous estimation des durées opératoires

Instances	% des victimes traitées				Temps de calcul		TO(%)
	V.S (%)	V.S.P5(%)	V.S.P6(%)	V.S.P7(%)	Tmin (s)	Tmax (s)	
					% d'occupation des salles		
<i>P25.4.R<sub>1</sub></i>	60	0	30	30	214	785	81.25
<i>P25.6.R<sub>3</sub></i>	100	0	60	40	71	324	53.17
<i>P25.6.R<sub>5</sub></i>	100	0	60	40	117	245	53.33
<i>P50.4.R<sub>1</sub></i>	50	0	20	30	309	796	94.82
<i>P50.6.R<sub>3</sub></i>	50	0	30	20	312	782	78.73
<i>P50.8.R<sub>3</sub></i>	80	0	50	30	82	243	63.79
<i>P70.4.R<sub>1</sub></i>	40	0	20	20	539	984	98.30
<i>P70.6.R<sub>3</sub></i>	60	0	20	40	571	1127	85.55
<i>P70.10.R<sub>3</sub></i>	90	0	60	30	739	890	59.41
<b>Moyenne</b>	<b>70</b>	<b>0</b>	<b>39</b>	<b>31</b>	<b>328</b>	<b>686</b>	

➡ Intérêt de l'algorithme shift right ?

➡ Temps de calcul = 8,45 minutes en moyenne

# Gestion hospitalière en situation d'exception

## Plan

- ❖ Contexte
- ❖ Problématiques
- ❖ Dimensionnement des ressources critiques
- ❖ Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
- ❖ Mutualisation des ressources
- ❖ Ordonnancement avec prise en compte des perturbations
- ❖ Conclusion et perspectives

# Conclusion et perspectives

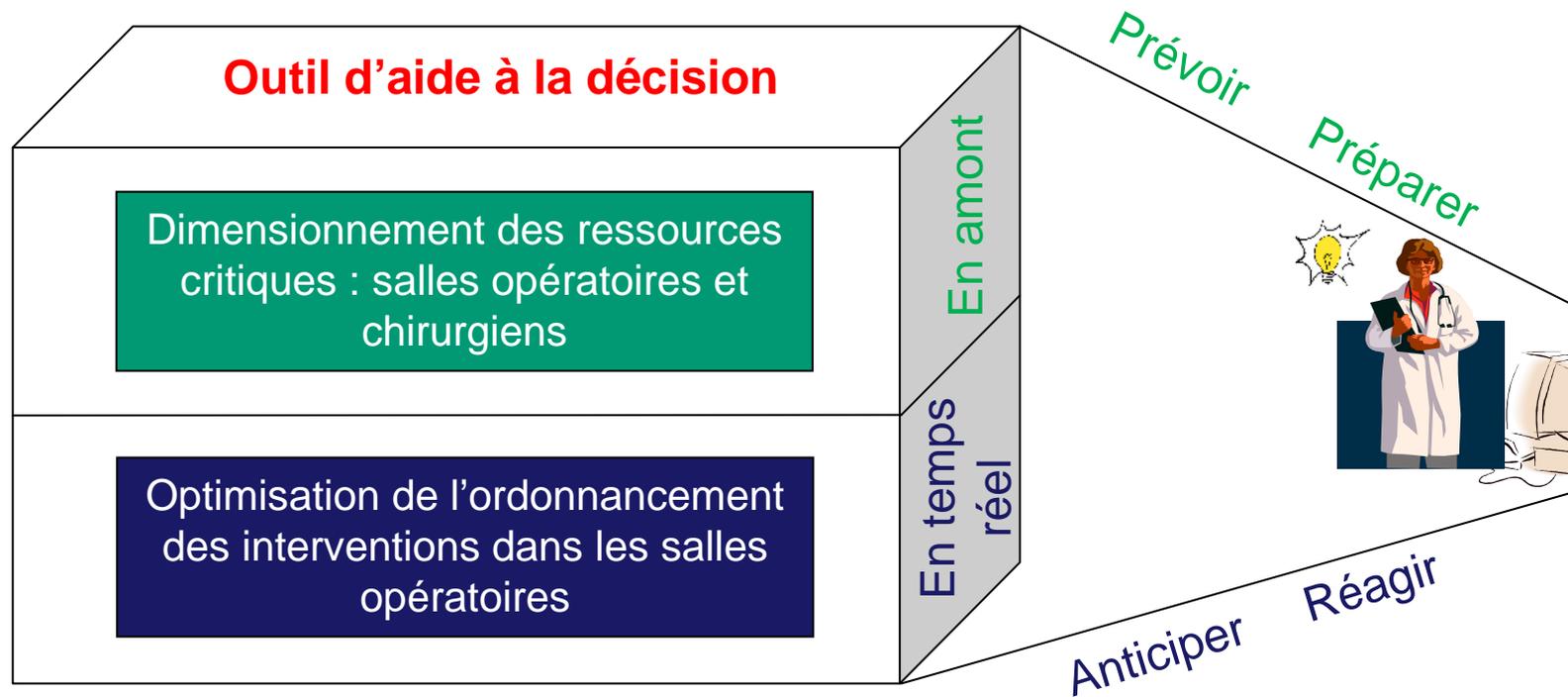
## ❖ Conclusion

- Dimensionnement du nombre de salles opératoires et calcul des dates d'arrivée des chirurgiens à l'hôpital
  - Ordonnancement des interventions dans les salles opératoires
  - Mutualisation des ressources humaines et matérielles
  - Prise en considération des perturbations
- Ces approches proposées ont permis de :

- Définir les ressources optimales à préparer pour une situation de catastrophe
- Définir un planning détaillé des interventions
- Identifier les victimes que l'hôpital ne peut pas prendre en charge
- Optimiser l'utilisation des ressources critiques (salles opératoires et chirurgiens)
- Traiter les perturbations

# Conclusion et perspectives

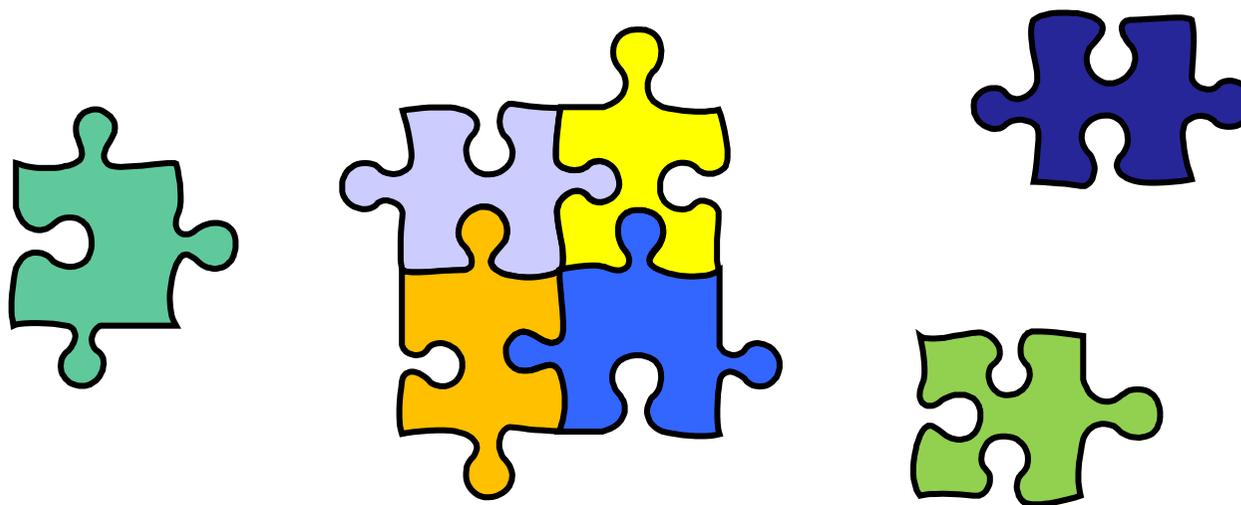
## ❖ Conclusion



# Conclusion et perspectives

## ❖ Perspectives

- *Prendre en compte d'autres ressources hospitalières (anesthésistes, etc.)*
- *Développer des heuristiques qui arrivent à traiter un nombre important de victimes*
- *Faire appel à d'autres théories et méthodes de résolution pour une meilleure prise en compte d'incertitudes.*



# Publications

I.Nouaouri, N.Dridi, S.Hajri-Gabouj, J.C.Nicolas, D.Jolly, *Modélisation de la programmation opératoire en situation d'exception*, ROADEF'08, Clermont-Ferrand, France, 2008.

I.Nouaouri, S.Hajri-Gabouj, N.Dridi, J.Ch.Nicolas, D.Jolly, Dr.M.Gabouj, *Programmation des interventions de stabilisation dans les salles opératoires : cas d'une catastrophe à effet limité*, 7ème Conférence Internationale de MOdélisation et de SIMulation MOSIM'08, Paris, France, 2008.

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, S.Hajri-Gabouj, N.Dridi, *La programmation opératoire en situation d'exception avec chirurgiens nomades et interventions multi-actes chirurgicaux*, 4ème Conférence Internationale en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers GISEH-2008, Lausanne, Suisse, 2008.

I.Nouaouri, S.Hajri-Gabouj, D.Jolly, *Programmation opératoire réactive en situation d'exception*, Séminaire Doctoral, Forum académique de l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS), Nîmes, France, 2008.

I.Nouaouri, S.Hajri-Gabouj, N.Dridi, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, *Disaster preparedness in hospitals : sizing critical resources*, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM'09, Montréal, Canada, 2009.

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, S.Hajri-Gabouj, N.Dridi, *Reactive operating rooms scheduling*, the 35th Conference on Operational Research Applied to Health Services ORAHS 2009, Leuven, Belgium, 2009.

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, *Scheduling of stabilization surgical cares in case of a disaster*, The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Hong Kong, 2009.

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, S.Hajri-Gabouj, N.Dridi, *Ordonnancement réactif des interventions dans les salles opératoires en cas de catastrophe*, RIRL 2010, 8èmes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, Bordeaux, 2010.

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, *Reactive operating schedule in case of a disaster : Arrival of unexpected victims*, World Congress on Engineering 2010, The 2010 International conference of Manufacturing Engineering and Engineering Management, London, 2010.

# Publications

## ***Soumissions dans des revues***

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, *Operating schedule: Take into account unexpected events in case of a disaster*, the International Journal of Health Management and Information (IJHMI)

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, *Disaster management in Hospital: Sizing critical resources*, Journal of Operations and Logistics (JOL).

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, *Disaster response: Scheduling of surgical cares in the operating rooms*, OR Spectrum.

I.Nouaouri, J.Ch. Nicolas, D.Jolly, *Sizing operating rooms for disaster response*, Disasters Journal.

# Gestion hospitalière en situation d'exception



*Merci pour votre attention*

© Issam Nouaouri

Béthune , 12 mai 2010



Université Lille Nord de France  
Pôle de Recherche  
et d'Enseignement Supérieur