

## MODELISATION ET EVALUATION DES UNITES DE SOINS

Michelle CHABROL, Michel GOURGAND, Sophie RODIER

LIMOS CNRS UMR 6158  
Campus universitaire des Cézeaux  
63177 Aubière Cedex, France  
{chabrol,ourgand,rodier}@isima.fr

**RESUME :** Nous présentons dans cet article une démarche de modélisation hybride pour les systèmes hospitaliers en nous intéressant particulièrement au domaine des unités de soins. Nous suivons la méthodologie ASCI (Analyse Spécification Conception Implémentation) afin de modéliser le domaine au niveau le plus fin. Nous présentons différents niveaux de modélisation pour les principales entités de notre domaine et proposons une spécification algorithmique pour la prise en compte des règles de gestion. Nous concevons ensuite un outil d'aide à la décision basé sur un modèle de simulation totalement paramétrable. Nous implémentons enfin notre outil sur une unité de soins et donnons les résultats obtenus.

**MOTS-CLES :** modélisation, analyse, simulation, unité de soins, évaluation de la performance, aide à la décision.

### 1. INTRODUCTION

Connaître et comprendre pour décider : cette nécessité s'applique au moins autant dans le domaine de la santé que dans les autres domaines. Les méthodes et les outils du génie logiciel permettent de modéliser un système afin de mieux l'appréhender puis de passer du domaine de la représentation à celui de la décision.

Selon l'expression de (Kretchmar *et al.*, 1994) l'objectif de la modélisation n'est pas de reproduire la réalité, mais plutôt de comprendre les mécanismes qui lient les causes aux phénomènes.

L'objectif de nos travaux est de modéliser les systèmes hospitaliers afin d'obtenir un modèle de connaissance de ces systèmes. Ce modèle doit ensuite permettre de concevoir des outils d'aide à la décision pour les hospitaliers. L'objectif principal de ces outils est de pouvoir agir :

- en amont sur le dimensionnement de la structure en termes d'effectif, sur la mise en place et la comparaison de règles d'organisation en termes de planning et d'affectation des ressources, de gestions des flux (humains, matériel, d'information) ;
- pendant le fonctionnement du système pour faire évoluer et adapter les règles d'organisation et d'affectation des ressources et réagir aux événements aléatoires ;
- en aval pour évaluer la performance du système.

La méthodologie que nous suivons, ASCI, pour Analyse, Spécification, Conception et Implémentation (Gourgand et Kellert, 1991) est basée sur la conception :

- d'un modèle de connaissance dans lequel est formalisée la connaissance du système ;
- d'un ou plusieurs modèle(s) d'action qui peuvent être conçus à partir de modèles d'évaluation de la per-

formance (modèle analytique, simulation), de méthodes d'optimisation (méthodes exactes, heuristiques, métaheuristiques...) ou d'un couplage de modèles ;

- d'un modèle de résultats qui permet à partir du modèle d'action d'obtenir les indicateurs nécessaires pour pouvoir agir sur le système.

Nous avons montré à plusieurs reprises l'intérêt de l'utilisation de cette méthodologie pour la réalisation d'outils d'aide à la décision pour les systèmes hospitaliers définis comme complexes (par exemple, dans Chabrol *et al.*, 2008, 2009). L'idée fondamentale est de considérer la connaissance du système comme un module indépendant des programmes qui la traitent.

Le domaine des systèmes hospitaliers étant très vaste, nous avons choisi, dans cet article, de nous intéresser plus particulièrement à la modélisation des unités de soins.

Nous abordons dans la section suivante la modélisation des unités de soins, à travers notamment un bref aperçu de la littérature, avant de proposer une approche pour la modélisation des unités de soins et son application.

### 2. MODELISATION ET UNITE DE SOINS

La modélisation d'un système peut se faire selon différents niveaux de granularité. Le niveau de détail choisi dépend de la connaissance plus ou plus moins fine que l'on peut extraire du système étudié mais également des objectifs de la modélisation.

Au niveau macroscopique, le système est appréhendé dans sa globalité alors qu'au niveau microscopique, chaque entité est considérée dans son individualité.

Étape intermédiaire, le niveau mesoscopique permet de regrouper une à plusieurs entités individuelles ayant cer-

taines caractéristiques communes et représentant un sous-groupe de la vue macroscopique. (Chabrol *et al.*, 2006) ont montré qu'il était intéressant de coupler les différents niveaux de modélisation avec les horizons temporels stratégique, tactique et opérationnel définis par (Ballou, 1992). Un aperçu de la littérature, confirmé par les travaux que nous avons réalisés dans le domaine, nous ont permis de constater que la modélisation peut répondre à des objectifs s'étalant sur plusieurs horizons temporels et qu'il est

quelquefois difficile, voire impossible, de fixer le même niveau de modélisation pour l'ensemble des entités d'un système. Afin d'illustrer nos propos pour le domaine des unités de soins, nous donnons dans le Tableau 1 les différentes vues de modélisation pour les principales entités d'un système que nous identifions comme étant les ressources matérielles, les ressources humaines, le patient et l'activité.

	<b>Macroscopique (Ma)</b>	<b>Mesoscopique (Me)</b>	<b>Microscopique (Mi)</b>
<b>Ressources Matérielles</b>	Les ressources matérielles sont regroupées dans un seul ensemble.	Les ressources matérielles sont regroupées en sous-ensembles. Ex : les chambres, les salles de soins....	Chaque ressource matérielle est considérée dans son individualité. Ex : le lit 1 de la chambre 1...
<b>Ressources Humaines</b>	Les ressources humaines forment un tout sans distinction.	Les ressources humaines sont regroupées en sous-ensembles. Ex : les médecins, les infirmières...	Chaque ressource humaine est considérée dans son individualité et avec ses spécificités. Ex : le médecin n°1, le médecin n°2....
<b>Patient</b>	Un seul type de patient est modélisé.	Les patients de même caractéristiques (pathologie, traitement...) sont regroupés en sous ensembles.	Chaque patient est modélisé (attributs, comportement).
<b>Activité</b>	L'activité est vue dans sa globalité.	L'activité globale est décomposée en ensembles d'opérations élémentaires. L'ensemble des spécificités de l'activité ne sont pas prises en compte.	L'activité est décomposée au niveau le plus fin en opérations élémentaires. L'ensemble des spécificités de l'activité peuvent être considérées (priorité...).

**Tableau 1. Les différents niveaux de modélisation des principales entités d'un système**

Nous proposons de noter (pour éviter, en particulier, un tableau avec 12 colonnes)

$$[\alpha, \beta, \gamma, \delta / \{\tau\}]$$

le niveau de modélisation d'un système avec :

- $\alpha$  : niveau de modélisation des ressources matérielles;
- $\beta$  : niveau de modélisation des ressources humaines;
- $\gamma$  : niveau de modélisation du patient;
- $\delta$  : niveau de modélisation de l'activité;
- $\tau$  qui représente l'horizon ou les horizons temporels concernés (facultatif).

Les niveaux de modélisation sont représentés par Ma pour macroscopique, Me pour mesoscopique ou Mi pour microscopique. Lorsque l'entité n'est pas prise en compte, le signe  $\emptyset$  est utilisé.

Nous faisons un bref état des lieux des différentes méthodes issues de la recherche opérationnelle et trouvées dans la littérature pour apporter des solutions aux principales problématiques liées aux unités de soins :

- l'analyse statistique, principalement utilisée pour la planification des lits (Milne and Whitty, 1995), (Parmamum *et al.*, 2000), (Toussaint *et al.*, 2001), (Gorunescu *et al.*, 2002), (Nguyen *et al.*, 2005);
- la simulation;
- la théorie des réseaux de files d'attente;
- la modélisation mathématique;
- une combinaison entre plusieurs de ces méthodes.

Le Tableau 2 donne un aperçu des travaux réalisés pour répondre aux différentes problématiques des unités de soins. Lorsque cela nous a paru possible, au vu de la démarche employée ou des résultats fournis, nous avons

évalué les différents niveaux de modélisation employés dans la construction des outils logiciels pour les ressources matérielles, les ressources humaines, le patient et l'activité. Les références soulignées correspondent aux auteurs ayant combiné plusieurs méthodes.

La simulation est utilisée dans la majorité des travaux que nous avons recensés. Cette particularité n'est pas propre au domaine des unités de soins puisque dans une étude plus large de l'utilisation des outils issus de la recherche opérationnelle dans le secteur de la santé (Fone *et al.*, 2003) montre que la simulation à événements discrets est majoritairement employée pour étudier les systèmes hospitaliers bien que très peu de papiers signalent une mise en application effective des modèles. Ce constat est partagé quelques années plus tard par (Braislford, 2007).

L'étude de la littérature sur les problématiques des unités de soins traitées avec les méthodes et outils de la recherche opérationnelle et du génie logiciel fait apparaître que :

- quelle que soit l'entité considérée, le niveau de finesse de la modélisation ne dépasse qu'exceptionnellement le niveau mesoscopique, se contentant la plupart du temps du niveau le plus agrégé (macroscopique) pour la décomposition de l'activité ;
- la plupart des problèmes traités concernant la planification des lits et son optimisation, les ressources matérielles sont essentiellement modélisées au niveau mesoscopique pour pouvoir tenir compte de certaines de leurs particularités.
- les ressources humaines sont rarement prises en compte.

Planification de la capacité des ressources		
Simulation	(Altinel et Ulas, 1996)	[Me, Ø,Me,Me]
	(Ridge <i>et al.</i> , 1998)	[Me, Ø,Me,Ma]
	(Kim <i>et al.</i> , 1999)	[Me, Ø,Me,Ma]
	(Troy et Rosenberg, 2009)	[Me,Me,Me,Me]
Théorie des réseaux de files d'attente	(Kim <i>et al.</i> , 1999)	[Me, Ø,Me,Ma]
	(Gorunescu <i>et al.</i> , 2002)	[Ma, Ø,Ma,Ma]
	(McManus <i>et al.</i> , 2004)	[Ma, Ø,Ma,Ma]
	(Tutuncu et Nexlands, 2009)	[Me,Me,Me,Me]
Modélisation mathématique	(McManus <i>et al.</i> , 2004)	[Ma, Ø,Ma,Ma]
	(Tutuncu et Nexlands, 2009)	[Me,Me,Me,Me]
Construction / Déménagement d'une unité de soins et incidences sur l'environnement		
Simulation	(Altinel et Ulas, 1996)	[Me, Ø,Me,Me]
	(Wiinamaki et Dronzek, 2003)	[Me, Ø,Me,Me]
	(Gibson, 2007)	[Me,Me,Me,Me]
	(Ashbi <i>et al.</i> , 2008)	[Ma, Ø,Ma,Ma]
Occupation moyenne des ressources, temps d'attente moyens, niveaux d'occupation critiques		
Simulation	(Bagust <i>et al.</i> , 1999)	[Me, Ø,Ma,Ma]
	(El -Darzi <i>et al.</i> , 1998)	[Me, Ø,Me,Ma]
	(Kim <i>et al.</i> , 1999)	[Me, Ø,Me,Ma]
Suivi de l'occupation des ressources et des temps d'attente		
Simulation	(Gibson, 2007)	[Me,Me,Me,Me]
	(Chauvet <i>et al.</i> , 2008)	[Mi,Me,Me,Me]
	(Wang <i>et al.</i> , 2009)	[Me,Me,Me,Me]
Équilibrage de la charge, réduction des attentes		
Simulation	(Cochran et Bharti, 2006a)	[Me, Ø,Me,Ma]
Théorie des réseaux de files d'attente	(Cochran et Bharti, 2006b)	[Me, Ø,Me,Ma]
Optimisation de la planification de la capacité en lits		
Simulation	(Kokangul, 2008)	[Ma, Ø,Ma,Ma]
Théorie des réseaux de files d'attente	(Brethauer et Côté, 1998)	[Me,Me,Me,Me]
	(Brethauer et Côté, 1998)	[Me,Me,Me,Me]
Modélisation mathématique	(Akcali <i>et al.</i> , 2006)	[Ma, Ø,Ma,Ma]
	(Kokangul, 2008)	[Ma, Ø,Ma,Ma]
Planning infirmier / optimisation de l'utilisation des ressources		
Modélisation mathématique	(Burke <i>et al.</i> , 2008)	[Ma,Me,Ø,Ma]

Tableau 2. Problématiques et méthodes de résolution pour le domaine des unités de soins

Les outils que nous souhaitons réaliser doivent permettre, entre autres, de tester différents scénarii organisationnel en faisant varier la charge du système, les quantités de ressources, les plannings mais également de tester et de comparer des règles de gestion. De plus, à partir d'une même démarche, nous souhaitons représenter les unités de soins selon différents niveaux d'abstraction afin de ne pas être limités, ni dans les méthodes à utiliser pour la conception d'outils d'aide à la décision, ni dans les résultats que l'on peut obtenir.

Nous proposons dans la section suivante une démarche de modélisation que nous qualifions d'hybride pour les unités de soins. Nous insistons particulièrement sur la modélisation des ressources humaines et des règles de gestion qui régissent le fonctionnement du système.

### 3. DEMARCHE DE MODELISATION HYBRIDE DES UNITES DE SOINS

Dans cette section, nous abordons les deux premières étapes de la méthodologie ASCI qui sont l'Analyse et la Spécification de la connaissance. Les informations pré-

sentées dans ce papier sont le résultat d'un important travail de recueil et de formalisation réalisé en étroite collaboration avec les responsables médicaux et paramédicaux de plusieurs unités de soins.

Si l'on peut, en première approximation, considérer l'unité de soins comme un système de production d'actes médicaux au sein d'un hôpital (Jean *et al.*, 1994), son fonctionnement se montre dans la réalité plus complexe. Cette complexité n'existe pas, a priori, pour la modélisation des ressources matérielles, qui se limite la plupart du temps à la prise en compte des lits et, éventuellement, de certaines salles spécifiques (salle de soins, salle de décontamination...). Elle se retrouve par contre, comme c'est souvent le cas pour les systèmes hospitaliers (Chabrol *et al.*, 2008, 2009), dans la modélisation des activités et des ressources humaines qui réalisent ces activités. L'analyse du travail dans une unité de soins permet de démontrer rapidement la nature coopérative des tâches qui s'y effectuent et l'importance du facteur humain. L'interaction de différentes personnes d'une équipe est un processus complexe où chaque participant intervient avec des moyens et des procédures différenciés.

De ces interactions et des différentes règles de gestion qui régissent le système, résultent une à plusieurs combinaisons de ressources possibles pour pouvoir réaliser chaque opération.

Si l'on prend l'exemple simple d'une opération devant être réalisée par une équipe composée selon deux combinaisons possibles, d'une infirmière (IDE) et d'une aide soignante (AS) pour la 1<sup>ère</sup> combinaison, ou, en cas d'indisponibilité de l'AS, d'une IDE toute seule pour la 2<sup>ème</sup> combinaison et que l'on prend deux exemples de règles de gestion, alors :

- si la règle de gestion stipule que les ressources peuvent intervenir uniquement dans leur secteur, cette opération pourra être réalisée par deux « équipes » possibles qui sont l'IDE et l'AS du secteur ou l'IDE toute seule ;
- si la règle de gestion autorise les ressources des secteurs voisins à intervenir, selon la forme de combinaison la plus « dégradée » (la dernière combinaison), alors, cette opération pourra être réalisée par trois « équipes » possibles qui sont l'IDE et l'AS du secteur, l'IDE du secteur toute seule, ou une IDE d'un secteur voisin toute seule.

Le temps d'exécution de l'opération pourra varier en fonction de la combinaison qui la réalise. Nous verrons dans la section 3.3 comment formaliser et prendre en compte ces règles de gestion. Nous présentons d'abord, de manière détaillée, les caractéristiques des principales entités de l'unité de soins.

### 3.1 Les spécificités des principales entités des unités de soins

Nous avons choisi, dans un premier temps, de modéliser ces entités au niveau microscopique. Il apparaît en effet assez facile de passer d'une modélisation microscopique à une modélisation mesoscopique ou macroscopique (même si cela engendre, la plupart du temps, une perte d'informations) alors que le schéma inverse est beaucoup plus complexe, voire impossible, sans un nouveau travail de recueil et de formalisation.

#### 3.1.1 Les ressources matérielles

Les ressources matérielles de l'unité de soins sont caractérisées par :

- un identifiant ;
- une dénomination ;
- un type (chambre, salle de soins... ) ;
- une localisation (zone, secteur... ) ;
- éventuellement, un planning d'ouverture (bureau d'accueil... ) ;
- dans certains cas, une capacité (salle d'attente) ;

#### 3.1.2 Les ressources humaines

Nous caractérisons chaque ressource humaine qui travaille dans une unité de soins par :

- un identifiant ;
- une dénomination ;
- une fonction (médecin, infirmière, aide-soignante... ) ;

- un planning horaire de présence qui peut varier quotidiennement ;
- un secteur d'affectation, qui peut comprendre tout ou partie de l'unité de soins, et qui varie selon la fonction et le planning de présence ;
- l'exécution quotidienne de règles de gestion complexes en termes de priorité (prioriser plusieurs tâches à effectuer au même instant t) et de préemption (abandonner temporairement ou définitivement une tâche pour aller en réaliser une autre).

#### 3.1.3 Le patient

Nous choisissons de caractériser chaque patient par :

- un identifiant ;
- une pathologie ;
- une date d'entrée dans l'unité de soins ;
- une date de sortie de l'unité de soins ;
- une localisation (n° de lit).

#### 3.1.4 L'activité

Nous décrivons, au niveau le plus fin, chaque activité comme une « opération élémentaire » caractérisée par :

- un identifiant ;
- une dénomination ;
- une appartenance ou non à un tour patient (est-ce que cette opération doit être intégrée dans l'une des tournées réalisées quotidiennement par les soignants ?)
- une localisation (identifiant d'un lit de patient, d'une salle de soins... ) ;
- une date de début au plus tôt, avant laquelle l'opération ne peut pas commencer ;
- une date de fin au plus tard, après laquelle l'opération sera considérée comme réalisée en retard, si un temps de retard est autorisé ;
- un temps de retard maximum autorisé après la date de fin au plus tard (si ce temps est égal à zéro, aucun retard n'est toléré et donc l'opération ne peut plus être réalisée).
- un type de durée : constant ou variable (loi de distribution) ;
- une durée (qui dépend d'un ensemble de paramètres utilisés pour le calcul du temps constant ou des lois de distribution) ;
- une priorité de passage ;
- un indice de préemption (cette opération peut-elle être interrompue pour que les ressources en effectuent une autre, plus prioritaire ? si c'est le cas, et s'il y a différents niveaux de priorité, quel écart faut-il atteindre entre la priorité de l'opération courante et celle de l'opération qui cherche à préempter les ressources, pour que l'opération courante soit interrompue ?) ;
- un temps d'autorisation avant préemption : temps laissé aux ressources humaines pour terminer cette opération avant d'être préemptées ;
- un temps supplémentaire après préemption : temps d'exécution supplémentaire lorsqu'une opération, qui a été interrompue, est reprise ;
- un indice d'omission permettant de préciser si cette opération peut être omise (cela devient une activité

facultative qui ne se réalisera que si les ressources sont disponibles, par exemple : une activité ludique dans une unité de soins pédiatrique) ;

- des contraintes de précédence : regroupant la ou les opération(s) qui doivent être réalisées pour que l'opération courante puisse être, à son tour, réalisée ;
- le nombre de combinaisons de ressources différentes pouvant réaliser l'opération ;
- si besoin, la ou les combinaison(s) de ressources pouvant réaliser l'opération ;
- un indicateur permettant de préciser si toutes les ressources du type demandé dans la combinaison doivent être appelées (par exemple, pour une activité comme la relève qui doit réunir tous les membres de l'équipe soignante pour faire un bilan sur l'état des patients) ;
- un facteur multiplicateur de temps, pour faire varier le temps d'exécution de l'opération en fonction de la combinaison réalisant effectivement l'opération ;
- un temps avant la mobilisation des ressources d'autres secteurs : temps d'attente de l'opération avant de faire appel aux ressources des autres secteurs ;
- un temps avant la préemption des ressources déjà occupées : temps d'attente de l'opération avant de préempter des ressources déjà occupées sur une autre opération.

### 3.2 Les règles de gestion des unités de soins

Nous avons recensé auprès des soignants les principales règles de gestion des unités de soins. Les quatre premières règles de gestion identifiées sont communes à l'ensemble des unités de soins analysées.

- 1 - Une opération est caractérisée par un niveau de priorité :
  - une priorité faible, caractérisant la plupart du temps les activités facultatives ou celles n'ayant pas de réelles contraintes horaires ;
  - une priorité moyenne (priorité par défaut) ;
  - une priorité élevée.
- 2 - Les ressources interviennent prioritairement dans leur secteur d'affectation. Elles interviennent également dans l'ensemble des lieux communs (bureau, salle de détente...).
- 3 - Si des ressources humaines disponibles sont appelées dans un autre secteur que leur secteur d'affectation, l'opération appelle les ressources par ordre de proximité de leur secteur d'affectation. C'est la dernière combinaison de ressources qui est appelée.
- 4 - Si des ressources humaines sont préemptées pour intervenir prioritairement sur une autre opération, l'opération qui préempte les ressources appelle prioritairement les ressources utilisés dans des zones de soins non directes (c'est à dire sans patients : bureau, salle de soins...) puis elle appelle

les ressources par ordre de proximité de leur zone d'occupation. C'est la dernière combinaison de ressources qui est appelée.

La cinquième règle identifiée est un exemple de règle qui peut dépendre des spécificités de l'unité de soins étudiée.

**5a** - Les ressources humaines peuvent intervenir, si besoin, dans les autres secteurs.

**5b** - Les ressources humaines ne peuvent intervenir que dans leur secteur d'affectation.

On peut prendre l'exemple d'une unité découpée en secteurs caractérisés par des niveaux d'asepsie différents nécessitant que les ressources humaines ne puissent intervenir que dans leur secteur, ou encore une unité dont la configuration ne permet pas une communication et une circulation aisées entre les différents secteurs.

La prise en compte de ces règles dépend du niveau de détail utilisé. Par exemple, les règles 2, 3, 4 et 5a ne sont pas prises en compte dans (Chauvet *et al.*, 2008) qui propose un modèle de simulation des unités de soins à un niveau d'abstraction plus élevé sans tenir compte de l'ensemble des spécificités du système (affectation des ressources aux secteurs, règles de gestion...).

### 3.3 La spécification des entités et des règles de gestion

La méthodologie ASCI préconise une décomposition du système en trois sous système :

- le sous-système physique (SSP) qui contient l'ensemble des entités physiques du système correspondant principalement aux *ressources matérielles* et aux *ressources humaines* qui réalisent l'*activité* ;
- le sous-système logique (SSL) qui regroupe l'ensemble des flux traversant le système (flux humain, matériel, financier et informationnel). Dans nos travaux, nous nous intéressons au flux humain et plus particulièrement au flux de *patient*.
- le sous-système décisionnel (SSD) dans lequel on retrouve les entités de décision mais également l'ensemble des *règles de gestion*.

Ces trois sous systèmes sont communicants : par exemple, en fonction de l'état et de la disponibilité des ressources (SSP) et des caractéristiques du patient (SSL), les règles de gestion sont appliquées (SSD) pour pouvoir prendre en charge l'activité.

Pour la vue statique, nous avons choisi de spécifier les entités des trois sous systèmes à l'aide de diagrammes de classes UML. Pour l'aspect dynamique de l'activité, nous introduisons la notion du « parcours patient » qui regroupe l'ensemble des opérations réalisées sur un patient lors de son passage dans le système. Nous avons complété le modèle des parcours patients de l'unité de soins de (Chauvet *et al.*, 2008). Les parcours sont spécifiés à l'aide de Chaînes de Processus Événementielles (CPE) et l'activité des soignants non directement liée aux parcours est spécifiée à l'aide d'arbre de fonctions ARIS.

Concernant les règles de gestion, nous les spécifions sous forme algorithmique.

### 3.3.1 La spécification des principales entités

Chaque entité est représentée sous la forme d'une classe dont les attributs reprennent les spécificités données dans la section précédente.

En vu de la traduction du modèle de connaissance en un ou plusieurs modèles d'action (programmes informatiques), des attributs et des classes peuvent être ajoutés pour composer le diagramme de classes. La Figure 1 donne un extrait de ce diagramme.

La classe « Parcours » permet de faire varier le niveau de modélisation choisi pour le patient :

- au niveau macroscopique, tous les patients sont représentés par un unique parcours ;
- au niveau microscopique, à chaque patient correspond un parcours ;
- au niveau intermédiaire (mesoscopique), le parcours représente un ensemble de patients.

La classe « Zone » joue le même rôle pour la localisation des ressources humaines et matérielles :

- au niveau macroscopique, la zone représente l'unité dans sa globalité ;
- au niveau mesoscopique, la zone peut correspondre à un ensemble de lieux, comme un ensemble de chambres, par exemple.
- au niveau microscopique, une zone peut être identifiée par lieu ;

Les ressources peuvent également être modélisées selon les différents niveaux d'agrégation. La classe « Ressource » permet de les modéliser au niveau macroscopique, en faisant par exemple uniquement la distinction entre les ressources matérielles et les ressources humaines modélisées de manière globale. Au niveau mesoscopique, ce sont les classes « Type Ressource Matérielle » et « Type Ressource Humaine » qui seront considérées. Au niveau microscopique enfin, ce sont les classes « Ressource Matérielle » et « Ressource Humaine » qui permettent de prendre en compte les spécificités de chacune des ressources.

Pour la modélisation de l'activité, elle est représentée par la classe « Opération élémentaire » qui permet d'aller au niveau de description le plus fin avec de nombreux attributs. Le nombre d'attribut utilisés dépendra essentiellement du niveau de modélisation souhaité.

Trois méthodes apparaissent dans le diagramme de classes. La méthode « Estimer\_duree » permet de donner la durée de l'opération élémentaire  $i$  calculée selon le type de durée (constant ou variable) et en fonction des paramètres donnés par le vecteur  $duree\_Op(i)$ . Cette durée peut ensuite être revue et varier en fonction de la combinaison de ressources qui la réalise effectivement l'opération. La méthode « Calculer\_stats » permet d'extraire les résultats du modèle de simulation au niveau le plus fin de description de l'activité (opération élémentaire). La méthode « Etre\_actif » permet de calcu-

ler le temps d'activité restant d'un planning à tout instant  $t$ . Les autres méthodes sont les règles de gestion du système. Elles ne sont pas locales et propres à une entité, mais globales et concernant plusieurs entités. Ces règles de gestion appartiennent au sous-système décisionnel.

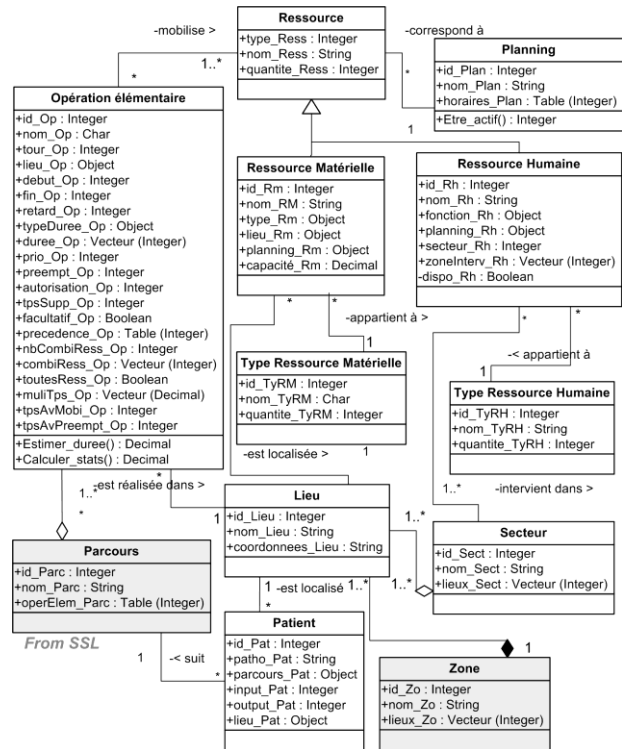


Figure 1. Extrait du diagramme de classes

### 3.3.2 La spécification des règles de gestion

Nous spécifions les règles de gestion sous forme algorithmique afin que celles-ci puissent intégrer différents modèles d'action basés sur des méthodes et outils d'évaluation de la performance ou d'optimisation.

Par abus de langage, nous parlons de combinaison de ressources, alors qu'il s'agit plutôt d'une combinaison de « type » de ressources. Cette combinaison est un attribut de l'opération élémentaire, formalisé sous forme de vecteur. Ce vecteur donne les différentes combinaisons pouvant réaliser l'opération élémentaire. Chaque combinaison est composée de plusieurs éléments. Chaque élément représente un type de ressources. Pour les ressources humaines, le type de ressources correspond généralement à la fonction (par exemple infirmier, aide soignant, médecin...).

Par exemple,

- si le nombre de combinaisons différentes possibles pour réaliser une opération élémentaire  $i$  est de trois, alors l'attribut  $nbCombiRess\_Op(i)$  est égal à 3.
- et si les différentes combinaisons données par l'attribut  $combiRess\_Op(i)$  sont :

$$combiRess\_Op(i) = \underbrace{1 \ 1 \ 1}_{Comb.1} \ \underbrace{1 \ 2 \ 1}_{Comb.2} \ \underbrace{1}_{Comb.3}$$

Alors, l'opération élémentaire doit être réalisée en priorité par deux ressources de type 1. Sinon, on cherchera à obtenir une ressource de type 1 et une ressource de type 2. Si aucune des deux premières combinaisons n'est satisfaite, l'opération pourra être effectuée par une ressource de type 1.

L'algorithme de sélection des ressources humaines doit permettre de sélectionner la combinaison des ressources permettant de réaliser cette opération élémentaire en tenant compte de l'ensemble des contraintes (planning, affectation de chaque ressource,...). Le principe de cet algorithme est le suivant :

#### **Etape 1**

On vérifie que l'opération peut toujours s'effectuer dans le temps imparti et qu'elle mobilise des ressources humaines. Dans le cas contraire, l'opération n'est pas réalisée.

#### **Etape 2**

On cherche à compléter les éléments de l'une des combinaisons avec les ressources disponibles affectées au secteur dans lequel se déroule l'opération.

#### **Etape 3**

On passe à cette deuxième étape lorsque l'on n'a pas réalisé de combinaison complète lors de la première étape, et que le temps d'attente de l'opération élémentaire a dépassé le temps fixé avant de mobiliser les ressources d'autres secteurs (*TpsAvMobi\_Op*).

On reprend la première étape mais en ne prenant en compte que la dernière combinaison et en cherchant parmi toutes les ressources pouvant intervenir dans le secteur sans y être nécessairement affectées.

#### **Etape 4**

Cette dernière étape concerne uniquement les opérations élémentaires ayant une priorité haute, lorsque les deux premières étapes n'ont pas donné de résultats et que le temps fixé avant de préempter les ressources (*TpsAv-Preempt\_Op*) est dépassé. On cherche l'ensemble des ressources étant affectées dans le secteur sur lequel se déroule l'opération et qui sont actuellement occupées mais sur une opération de moindre priorité. On préempte prioritairement les ressources utilisées dans les lieux sans patients, puis par ordre de proximité.

L'algorithme 1 détaille les étapes 1 et 2.

---

<i>TIME</i>	= temps courant
<i>l</i>	= opération élémentaire courante
<i>c</i>	= numéro de la combinaison courante
<i>n</i>	= numéro d'élément (rang) de la combinaison courante
<i>nbElem</i>	= nombre d'éléments possible pour une combinaison
<i>N(c)</i>	= nombre d'éléments non vides dans la combinaison <i>c</i>
<i>Temp(n)</i>	= variable de mémorisation temporaire de l'identifiant de la ressource correspondant à l'élément <i>n</i>
<i>Ress(n)</i>	= ressource utilisée pour compléter l'élément <i>n</i> de la combinaison <i>c</i> et afin de réaliser l'opération <i>i</i>
<i>End(i)</i>	= 1 si l'opération <i>i</i> a été traitée, 0 sinon
<i>NumC(i)</i>	= numéro de la combinaison ayant traité l'opération <i>i</i>
<i>T(r)</i>	= ensemble des ressources de type <i>r</i>

**Si** (*nbCombi\_Ress(i) > 0*) [opération élémentaire *i* nécessitant au moins une combinaison de ressources]

**alors**

**Tant que** *End(i) = 0* [opération élémentaire *i* non traitée]

/// Etape 1 - On vérifie si l'opération *i* peut être effectuée dans le temps qui lui est imparti ///

**Si** *retard\_Op(i)=0* [date de fin impérative (aucun retard autorisé)]

**et** (*TIME + Estimer\_duree(i)*) > *fin\_Op(i)* [date non comprise dans l'intervalle de temps disponible] **alors**

*End(i) = 1* [annulation de l'opération *i*]

**Fin Si**

**Fin Tant que** [opération élémentaire *i* non traité]

/// Etape 2 - On cherche les ressources des différentes combinaisons étant affectées au secteur où se déroule l'opération élémentaire///

**Tant que** *End(i)=0* [opération *i* non traitée]

**Pour** *c = 1 to nbCombiRess\_Op(i)* [chaque combinaison *c*]

**Pour** *x = 1 to N(c)* [chaque élément de la combinaison *c*]

**Pour** *r = 1 to T(x)* [chaque ressource *r* du type correspondant à l'élément de la combinaison]

**Si** *dispo\_Rh(r)\*Etre\_actif(Plannig(r)) ≥ duree\_Op(i)* [ressource *r* disponible pour compléter une combinaison et en service pour la durée prévue de l'opération élémentaire *i*]

**et** *zoneInterv\_Rh(lieux\_Sect(lieux\_Zo(lieu\_Op(i))))=1* [ressource *r* pouvant intervenir dans le lieu où se trouve l'opération élémentaire *i*] **alors**

*Temp(n) = id\_Rh(r)* [mémorisation temporaire de l'identifiant de la ressource *r*]

*dispo\_Rh(r) = 0* [ressource *r* notée indisponible pour compléter une autre combinaison]

**Si** (*n = N(c)*) [élément *n* : dernier élément de la combinaison *c*] **alors**

**Si** (*Temp(n) !<>0*) [combinaison est complète] **alors**

*Ress(n) = Temp(n)* [appel la ressource dont l'identifiant est mémorisé dans *Temp(n)* pour réaliser l'opération]

*Temp(n) = 0* [réinitialisation de *Temp(n)*]

$duree\_Op(i) = duree\_Op(i) * multiTps\_Op(c)$  [application du coefficient pondérateur au temps d'exécution de l'opération  $i$  dépendant de la combinaison  $c$  utilisée]

$End(i) = 1$  [opération  $i$  a été traitée]

**Sinon** [combinaison incomplète]

**Pour**  $x= 1$  to  $N(c)$  [chaque élément de la combinaison  $c$ ]

$dispo\_Rh(Temp(n)) = 1$  [ressource mémorisée dans  $Temp(n)$  disponible pour compléter une autre combinaison]

$Temp(n) = 0$  [réinitialisation de  $Temp(n)$ ]

**Fin Pour** [passage à la combinaison suivante]

**Fin Si** [combinaison complète]

**Fin Si** [élément  $n$  : dernier élément de la combinaison  $c$ ]

**Fin Si** [ressource  $r$  est disponible et peut intervenir]

**Fin Pour** [chaque ressource  $r$ ]

**Fin Pour** [chaque élément de la combinaison  $c$ ]

**Fin Pour** [chaque combinaison  $c$ ]

**Fin Tant que** [opération élémentaire  $i$  non traité]

**Fin Si** [opération élémentaire  $i$  nécessitant au moins une combinaison de ressources]

[...]

---

### Algorithme 1. Etapes 1 et 2 de l'algorithme de sélection des ressources humaines

Les méthodes locales et globales ont ainsi été spécifiées sous forme algorithmique afin de pouvoir être intégrées aux différents modèles d'action.

#### 4. MODELE D'ACTION ET MODELE DE RESULTATS

Dans cette section, nous abordons les deux dernières étapes de la méthodologie ASCI qui sont la Conception et l'Implémentation. En modélisant l'ensemble des entités au niveau microscopique, nous pouvons concevoir différents types de modèles (modèle de simulation, modèle analytique,...) avec différents niveaux de détail.

En vue de tester différentes règles de gestion et d'obtenir des résultats détaillées sur les opérations élémentaires et l'ensemble des ressources, nous avons choisi la simulation à événements discrets.

En reprenant les notations de la section 2, nous donnons les niveaux de modélisation qui ont été employés pour la spécification et la conception :

- *Modèle de Connaissance* [Mi,Mi,Mi,Mi]
- *Modèle d'Action* [Mi,Mi,Me,Mi]

En concertation avec les cadres de supérieurs de plusieurs de ces unités, nous avons modélisé le parcours patients comme un ensemble de traitements (opération élémentaire) dont le patient doit bénéficier. Un parcours peut donc regrouper l'ensemble des opérations élémentaires propres à plusieurs pathologies. Pour les autres entités, nous avons pris en compte l'ensemble des spécificités définies dans la section précédente.

##### 4.1.1 Les règles de passage du modèle de connaissance au modèle d'action

Le modèle d'action a été réalisé à partir du logiciel de simulation Witness ([www.lanner.com](http://www.lanner.com)). Le Tableau 3 donne les règles de passage entre le modèle de connaissance (MC) et le modèle d'Action (MA).

Le modèle de simulation a été développé sans interface graphique afin de pouvoir prendre en compte n'importe qu'elle unité de soins. Il est totalement paramétrable via

les interfaces utilisateurs : nombre, caractéristiques, planning et affectation des ressources, description des parcours patients et des opérations élémentaires, charge du système (parcours d'appartenance et localisation de chaque patient), matrice de distances entre les lieux pour prise en compte des temps de déplacement, choix entre les différentes règles de gestion, choix de la durée de la simulation. Ce modèle a été réalisé en six semaines et contient 35 attributs, 65 variables, 16 fonctions et environ 12000 lignes de code et commentaires. Les résultats exportés le sont au niveau le plus fin (trace du système). La simulation d'une semaine d'activité prend entre 3 et 5 minutes avec Witness 2008 sous un processeur Intel double cœur cadencé à 2.20GHz et 2 Go de RAM.

Modèle de Connaissance	Modèle d'Action Witness
Ressource Matérielle	Machine
Ressource Humaines	Opérateur
Patient	Attribut
Activité	Article
Attribut de classe	Attribut ou variable
Méthode de classe	Fonction

Tableau 3. Règles de passage MC – MA Witness

##### 4.1.2 Le modèle de résultats

Le modèle de résultats a été défini avec les utilisateurs. Les résultats sont présentés à l'aide d'interfaces qui donnent accès à des indicateurs de performance sous forme de graphiques et de tableaux pour permettre une aide à la décision. Nous distinguons :

###### Les indicateurs fournis avant la simulation

Ces indicateurs sont calculés à partir des paramètres et des données saisies dans l'interface utilisateur. Ils permettent une première vérification de la cohérence du scénario testé :

- durée prévisionnelle des tours patients par secteur ;
- nombre d'opérations à réaliser par jour et par lieu.

###### Les résultats globaux de la simulation

- nombre d'opérations à réaliser ;



- nombre d'opérations en cours ;
- nombre d'opérations réalisées ;
- nombre d'opérations réalisées en retard ;
- répartition des retards par tranches horaires (exemple avec la Figure 2).

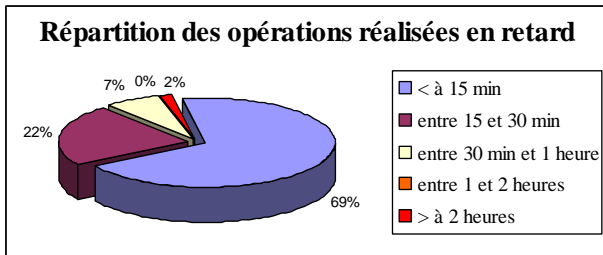


Figure 2. Répartition des retards

#### Les résultats détaillés de la simulation

- Liste des opérations élémentaires en cours ;

#### Par lieu et par jour :

- nombre d'opérations à réaliser ;
- nombre d'opérations réalisées ;
- proportion opérations réalisées / opérations à réaliser ;
- nombre d'opérations non réalisées ;
- proportion opérations non réalisées / opérations à réaliser ;
- nombre d'opérations terminées après la date de fin ;
- proportion opérations terminées après la date de fin / opérations réalisées ;
- cumul des temps de retard.

Ces résultats sont donnés sous formes de tableaux de bords et de graphique (histogrammes).

#### Pour chaque ressource :

- taux d'occupation moyen ;

Ces résultats sont présentés sous forme d'un tableau croisé dynamique et ils peuvent être affichés par jour, par secteur d'affectation, par planning et/ou par type de ressources.

#### Pour chaque opération élémentaire :

Nous avons également mis en forme la trace du système afin que l'utilisateur puisse avoir, pour chaque opération élémentaire l'ensemble de ces caractéristiques : lieu, date effective de début et de fin, éventuel identifiant du patient concerné, numéro de combinaison utilisée, identifiant des ressources utilisées, temps de retard, indice d'interruption d'opération...

L'utilisateur peut ainsi rapidement voir qu'elles ont été les opérations qui ont posé problème.

## CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article une démarche de modélisation hybride pour les systèmes hospitaliers en montrant l'intérêt de pouvoir combiner différents niveaux de modélisation pour la représentation d'un système. Cette démarche permet de concevoir des modèles de connaissance génériques intégrant différents niveaux de modélisation pour les entités du système. A partir de ces modèles et de la spécification des règles de gestion

que nous réalisons sous forme algorithmique, plusieurs modèles d'action peuvent être développés. Ces outils logiciels, utilisés pour apporter une aide à la décision, peuvent se baser sur des modèles d'évaluation de la performance, d'optimisation ou sur un couplage de plusieurs modèles.

Nous avons appliqué notre démarche au domaine des unités de soins et avons proposé un modèle générique de connaissance du domaine. Nous avons ensuite traduit ce modèle de connaissance en un modèle de simulation totalement paramétrable. L'implémentation a été réalisée sur une unité de soins digestifs devant intégrer une nouvelle structure au printemps 2010. Une trentaine de simulations ont été lancées pour tester la robustesse du modèle et comparer les résultats obtenus. Ce travail a été validé par les soignants et l'outil d'aide à la décision a été mis à leur disposition pour pouvoir tester différents scénarii organisationnels en termes de planning, zones d'affectation, règles de gestion... Nous envisageons d'implémenter cet outil sur d'autres unités de soins et de réfléchir à un couplage avec des modèles d'optimisation (pour la planification des lits ou l'élaboration des plannings horaires, par exemple).

Les auteurs tiennent à remercier Clermont-Communauté pour son soutien financier au projet de modélisation des systèmes hospitaliers du LIMOS.

## REFERENCES

- Akcali, E., Côté, M. J., and Lin, C. (2006). A network flow approach to optimizing hospital bed capacity decisions, *Health Care Management Science* 9: 391-404.
- Altinel, I. K., and Ulas, E. (1996). Simulation modeling for emergency bed requirement planning, *Annals of Operations Research* 67: 183-210.
- Ashby, M., Ferrin, D., Miller, M., and Shahi, N. (2008). Discrete event simulation: optimizing patient flow and redesign in a replacement facility. In *Winter Simulation Conference*: 1362-1366
- Bagust, A., Place, M., and Posnett, J. W. (1999). Dynamics of bed use in accommodating emergency admissions: stochastic simulation mode, *British Medical Journal* 319: 155-158.
- Braislford, S. C. (2007). Tutorial: Advances and challenges in healthcare simulation modeling. In *Winter Simulation Conference*: 1436-1448. Washington.
- Ballou, R. H. (1992). *Business Logistics Management*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Bretthauer, K. M., and Côté, M. J. (1998). A Model for Planning Resource Requirements in Health Care Organizations, *Decision Sciences Journal* 29: 243-270.
- Burke, E. K., Curtois, T., Post, G., Qu, R., and Veltman, B. (2008). A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research* 188: 330-341.

- Chabrol, M., Chauvet, J., Féliès, P., and Gourgand, M. (2006). A methodology for process evaluation and activity based costing in health care supply chain. *Lecture Notes in Computer Sciences (LNCS), Business Process Management Workshops*, 3812: 375-384.
- Chabrol, M., Gourgand, M., and Rodier, S. (2008). Modèle de connaissance générique et outils d'aide à la décision pour les blocs obstétricaux. In *Modélisation et Simulation (MOSIM)*: 1496-1505. Paris, France, 31 mars – 2 avril 2008.
- Chabrol, M., Gourgand, M., and Rodier, S. (2009). Methodological approach and software tools for the hospital systems. *Intelligent Patient Management, Studies in Computational Intelligence (SCI)* 189: 93-111.
- Chauvet, J., Kemmoe, S., and Aleksy, B. (2008). Proposition d'un modèle de connaissance générique des unités de soins. In *Modélisation et Simulation (MOSIM)*: 1513-1522. Paris, France, 31 mars – 2 avril 2008.
- Cochran, J. K., and Bharti, A. (2006a). Stochastic bed balancing of an obstetrics hospital, *Health Care Management Science* 9(1): 31-45.
- Cochran, J. K., and Bharti, A. (2006b). A multi-stage stochastic methodology for whole hospital bed planning under peak loading, *International Journal Industrial and Systems Engineering* 1: 8-36.
- El-Darzi, E., Vasilakis, C., Chausalet, T., and Millard, P. (1998). A simulation modeling approach to evaluating length of stay, occupancy, emptiness and bed blocking in a hospital geriatric department, *Health Care Management Science* 1: 143-149.
- Fone, D., Hollinghurst, S., Temple, M., Round, A., Lester, N., Weightman, A., Roberts, K., Coyle, E., Bevan, G., and Palmer, S. (2003). Systematic review of the use and value of computer simulation modelling in population health and health care delivery, *Journal of Public Health Medicine* 25(4): 325-335.
- Gibson, I. W. (2007). An approach to hospital planning and design using discrete event simulation. In *Winter Simulation Conference*: 1501-1509. Washington.
- Gorunescu, F., Mcclean, S., and Millard, P. (2002). A queueing model for bed-occupancy management and planning of hospitals, *Journal of the Operational Research Society* 53: 19-24.
- Gourgand, M., and Kellert, P. (1991). Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production. In *Congrès International de Génie Industriel*. Tours, France, 20-22 mars 1991.
- Jean, F.-C., Sauquet, D., Lavril, M., Lemaitre, D., Jaulent, M.-C., and Degoulet, P. (1994). Intégration de composants logiciels pour développer des systèmes de gestion de l'unité de soins. *Informatique et Santé*, Informatisation de l'Unité de Soins du Futur, 7: 111-124. Springer-Verlag, France.
- Kim, S.-C., Horowitz, I., Young, K. K., and Buckley, T. A. (1999). Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital, *European Journal of Operational Research* 115: 36-46.
- Kokangul, A. (2008). A combination of deterministic and stochastic approaches to optimize bed capacity in a hospital unit, *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 90(1): 56-65.
- Kozan, E., and Gillingham, S. (1997). A simulation model to increase the efficiency of a hospital maternity system. In *International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM)* 3: 1035-1040. Hobart, Australia, 8-11 Décembre 1997.
- Kreitchmar, M., Reinking, D.P., Brouwers, H., van Zessen, G., Jager, J.C., 1994. Network models - from paradigm to mathematical tool, *Modeling the AIDS epidemics: Planning, Policy and Prediction*, Raven.
- Lagergren, M., 1998. What is the role and contribution of models to management and research in the health services? A view from Europe, *European Journal of Operational Research*, 105, p. 255-266.
- McManus, M. L., Long, M. C., Cooper, A., and Litvak, E. (2004). Queueing Theory Accurately Models the Need for Critical Care Resources, *Anesthesiology* 100: 1271-1276.
- Milne, E., and Whitty, P. (1995). Calculation of the need for paediatric intensive care beds, *Archives of Disease in Childhood* 73: 505-507.
- Nguyen, J. M., Six, P., Antonioli, D., Glemain, P., Potel, G., Lombraill, P., and Le Beux, P. (2005). A simple method to optimize hospital beds capacity, *International Journal of Medical Informatics* 74: 39-49.
- Parmanum, J., Field, D., Rennie, J., and Steer, P. (2000). National census of availability of neonatal intensive care, *British Medical Journal* 321: 727-729.
- Ridge, J. C., Jones, S. K., Nielsen, M. S., and Shahani, A. K. (1998). Capacity planning for intensive care units, *European Journal of Operational Research* 105: 346-355.
- Toussaint, E., Herengt, G., Gillois, P., and Kohler, F. (2001). Method to Determine the Bed Capacity, Different Approaches used for the Establishment Planning Project in the University Hospital of Nancy. *Studies in Health Technology and Informatics, MEDINFO*, 84: 1404-1408.
- Troy, P. M., and Rosenberg, L. (2009). Using simulation to determine the need for ICU beds for surgery patients, *Surgery* 146: 608-620.
- Tütüncü, Y., and Newlands, D. (2009). *Hospital Bed Capacity and Mix Problem for State Supported Public and Fee Paying Private Wards*. IÉSEG School of Management, CNRS-LEM (UMR 8179)
- Wang, T., Guinet, A., Belaidi, A., and Besombes, B. (2009). Modeling and simulation of emergency services with ARIS and Arena - Case study: the Emergency department of Saint Joseph and Saint Luc Hospital. *Production Planning & Control* 20: 484-495
- Wiinamaki, A., and Dronzek, R. (2003). Using simulation in the architectural concept phase of an emergency department design. In *Winter Simulation Conference*: 1912-1916.