

## UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE DIMENSIONNEMENT ET LA PLANIFICATION DES BLOCS OPÉRATOIRES

M. GOURGAND<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LIMOS CNRS UMR 6158  
Campus universitaire des Cèzeaux  
63177 Aubière Cedex  
gourgand@isima.fr

S. RODIER<sup>1,2</sup>

<sup>2</sup>CHU de Clermont-Ferrand  
Boulevard Léon Malfreyt  
63058 Clermont-Ferrand Cedex 1  
rodier@isima.fr

**RESUMÉ :** *Le bloc opératoire, élément central de l'activité de l'hôpital, représente aussi l'un des principaux postes de dépenses. Pour maîtriser ces dépenses, il convient, dans un premier temps de dimensionner au mieux la structure physique et les ressources matérielles et humaines qui y sont affectées. En nous appuyant sur la méthodologie ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation), nous proposons un outil d'aide à la décision, basé sur des heuristiques pour le dimensionnement et la planification des blocs opératoires.*

**MOTS-CLÉS :** *bloc opératoire, modélisation, ASCI, UML, outil d'aide à la décision, heuristiques.*

### 1. INTRODUCTION

La réflexion menée sur la restructuration générale du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Clermont-Ferrand l'a conduit à faire le choix d'un transfert complet des activités de l'un de ses établissements, l'Hôtel-Dieu, sur un nouveau site impliquant la construction d'une nouvelle structure : le Nouvel Hôpital Estaing (NHE). La direction du CHU doit repenser l'organisation de son plateau technique qui regroupera en un seul et même lieu quatre blocs opératoires situés aujourd'hui dans des bâtiments distincts.

Avec la tarification à l'activité (T2A), nouveau mode de financement des hôpitaux, l'hôpital se doit d'étudier toutes les marges de manœuvre pour diminuer ses dépenses. Une des unités fonctionnelles les plus coûteuses et les plus complexes dans l'hôpital est le bloc opératoire (Spangler *et al.*, 2004 ; Denton *et al.*, 2007). Les soins qui y sont effectués et la mise en commun des ressources entre plusieurs disciplines (spécialités) en font un éventuel goulot d'étranglement. Ainsi le bloc opératoire présente un besoin essentiel de planification des ressources. Les coûts inhérents au fonctionnement d'un bloc opératoire grèvent de manière significative le budget d'un hôpital puisque leur coût d'exploitation représentait, il y a quelques années encore, plus de 10 % du budget global de l'établissement (Gordon *et al.* 1998). Si des efforts ont été faits dans ce domaine, le bloc n'en reste pas moins un poste principal de dépenses dans le système hospitalier. Ce constat résulte de l'importance des moyens humains qu'il sollicite, des investissements immobiliers et mobiliers qu'il concentre et des coûts en exploitation courante qu'il engage pour l'activité chirurgicale. La conception interne des blocs opératoires et de ses interfaces (réanimation, stérilisation...) fait

l'objet d'une analyse rigoureuse.

Combes (Combes, 1994) précise que l'hôpital est organisé, généralement, en centres de responsabilités : chacun des centres médicaux, médico-techniques ou administratifs est dirigé par un responsable. Chaque centre est divisé en unités fonctionnelles. Chaque unité réalise un type d'activités et est rattachée à un service.

Moison et Tonneau (Moison et Tonneau, 1999) donnent un classement de ces unités en plusieurs secteurs et apportent une définition du plateau technique qui regroupe l'ensemble des unités où s'effectuent un certain nombre d'actes nécessitant des technologies importantes, soit thérapeutiques, soit d'aide au diagnostic. Ces unités travaillent pour les services cliniques et les consultations et disposent généralement d'un équipement lourd. Le plateau technique regroupe un plateau d'imagerie médicale, un plateau de biologie médicale et un plateau médico-technique. Dans ce papier, nous nous intéressons au plateau médico-technique, et plus particulièrement au bloc opératoire et au processus opératoire. Le bloc opératoire est défini comme un espace composé de plusieurs éléments normalisés dans lequel sont pris en charge les patients devant subir une intervention chirurgicale. Il est généralement composé de :

- une ou plusieurs salles d'opération ;
  - une ou plusieurs salles de surveillance post interventionnelle (SSPI : salle de réveil) ;
  - une ou plusieurs salles de stockage ;
  - une ou plusieurs autres salles réservées au personnel (salle de repos, bureaux...),
- et suivant les établissements :
- une ou plusieurs salles d'induction ;
  - une ou plusieurs autres salles techniques (salle de conditionnement, SAS de décartonnage...).

Hammami (Hammami, 2006) distingue trois modes de prise en charge du processus opératoire que nous définissons de la manière suivante :

- La chirurgie réglée en hospitalisation complète : il s'agit d'une chirurgie pour laquelle le patient nécessite une hospitalisation en unité de soins.
- La chirurgie ambulatoire : contrairement à la chirurgie réglée en hospitalisation complète, la chirurgie ambulatoire ne nécessite pas d'hospitalisation en unité de soins. Le patient rentre à l'hôpital le jour même de son intervention et en ressort après avoir respecté un certain délai de sécurité suivant l'intervention effectuée.
- Les urgences : il s'agit de patients nécessitant une intervention chirurgicale urgente, non inscrite dans le programme prévisionnel. Les urgences sont classées selon leur admission (urgences internes à l'hôpital ou externes) et selon leur degré d'urgence (délai maximum de prise en charge).

Dans des travaux récents, Persson (Persson, 2007) étudie le potentiel de la recherche opérationnelle pour aider les décideurs des systèmes santé à améliorer leurs politiques de gestion des blocs opératoires. En raison des caractéristiques interdisciplinaires de la recherche opérationnelle, les méthodes appliquées sont diverses pour résoudre ces problèmes. Cependant, la simulation et les méthodes d'optimisation sont les méthodes le plus généralement appliquées aux problèmes de modélisation et d'optimisation des systèmes de santé (Jun *et al.*, 1997). Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à l'ensemble de ces méthodes. Nous proposons un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement du futur bloc opératoire du NHE. Après avoir rappelé notre cahier des charges, nous évoquons dans une troisième section la littérature sur la problématique des blocs opératoires. Dans une quatrième section, nous présentons notre démarche et les outils utilisés. La cinquième et la sixième section sont consacrées au modèle de connaissance du bloc opératoire et aux heuristiques proposées pour résoudre le problème de dimensionnement. Dans une septième section nous présentons les résultats obtenus avant de conclure et de donner quelques perspectives.

## 2. CAHIER DES CHARGES DE L'OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

L'objectif principal de notre travail est de fournir aux décideurs du NHE (direction, médecins, cadres de santé) un outil d'aide à la décision permettant de dimensionner, au mieux, le nombre de salles d'opération à construire pour le futur bloc opératoire du Nouvel Hôpital Estaing, en apportant, à leur demande, des éléments sur :

- le dimensionnement : dimensionnement de la structure physique (nombre de salles d'opération à ouvrir) et des ressources humaines (nombre d'équipes par spécialité chirurgicale, nombre d'équipes de décontamination...);
- la planification : test et comparaison des règles de gestion (salles polyvalentes, salles dédiés à une ou

plusieurs spécialité(s),...), étude de différentes configurations (plannings des salles, charge du système,...).

- l'évaluation de la performance : évaluation d'indicateurs : taux d'occupation des salles, nombre de ressources humaines mobilisées à l'instant t.

Cet outil doit permettre d'intégrer :

- le degré de polyvalence des différentes salles d'opérations : l'utilisateur doit pouvoir choisir le nombre de types différents de salles (spécialisées pour une spécialité chirurgicale, partagées entre plusieurs spécialités, totalement polyvalente...) et le type de chaque salle ;
- les horaires d'ouverture des salles : on doit pouvoir affecter un planning d'ouverture par salle et par jour ;
- la prise en compte de nouvelles spécialités : l'outil doit pouvoir évoluer et prendre en compte de nouvelles spécialités ;
- la variation de l'activité : l'outil doit permettre de générer une évolution d'activité paramétrable en se basant sur les données existantes ;
- la prise en compte des ressources humaines : l'outil doit permettre de dimensionner les ressources humaines ;
- la prise en compte du temps entre interventions (décontamination ...) : l'outil doit permettre de prendre un temps entre interventions, constant ou variable (loi uniforme entre deux bornes), dépendant de la spécialité, voire de l'intervention.

Nous considérons l'ensemble des interventions effectuées au bloc opératoire, sans prendre en compte dans un premier temps les urgences hors ouverture du bloc (nuit et week-end) étant donné que le nombre de salles à construire pour l'activité programmée permettra largement d'absorber ce flux d'urgence. De même, nous ne prenons pas en compte les SSPI, le nombre de places en SSPI étant directement fixé en fonction du nombre de salles d'opérations ouvertes.

Pour atteindre ces objectifs, nous proposons de construire un modèle de connaissance (analyse et formalisation de la structure et du fonctionnement) du bloc opératoire et de proposer un outil d'aide à la décision. Les différents horizons que nous nous fixons pour cet outil vont du jour à l'année, voire à plusieurs années. Il doit par exemple permettre :

- à la direction du CHU de dimensionner la structure physique du bloc opératoire, deux à trois ans avant son ouverture ;
- au conseil de bloc (instance décisionnelle) de planifier les ressources à chaque activité ;
- au cadre de santé d'obtenir un ordonnancement des opérations admissible.

## 3. ÉTAT DE L'ART

Le bloc opératoire constitue non seulement le secteur le plus important et le plus coûteux dans la majorité des hôpitaux, mais il est également complexe à gérer et à planifier, étant donné les nombreux aléas à prendre en

compte, le nombre élevé d'acteurs et la difficulté de standardisation et de coordination des activités chirurgicales. La programmation opératoire doit prendre ainsi en compte :

- les besoins et les contraintes des chirurgiens ;
- les besoins et contraintes des équipes d'anesthésistes ;
- la disponibilité des infirmières ;
- le flux de patients venant des services d'urgence ;
- l'activité de garde ;
- la relation avec l'activité de stérilisation ;
- les procédures d'approvisionnement en matériels divers (prothèses, matériel médical à usage unique...) ;
- l'activité de brancardage ;
- les ressources des salles de réveil ...

Nous avons pris comme définition de la programmation opératoire celle proposée par (Meskens et Riane, 2007) : « La programmation opératoire, appelée « wait list management » ou « surgical process management » dans la littérature anglo-saxonne, consiste à construire un planning prévisionnel des interventions chirurgicales à réaliser pendant une période, généralement une semaine, à partir des demandes émanant des services chirurgicaux et de prescripteurs externes. La programmation opératoire se décompose de deux sous problèmes séquentiels : la planification à l'avance qui consiste à affecter une date d'opération aux patients dans l'avenir et l'ordonnancement d'affectation qui consiste à déterminer l'ordre des interventions dans un bloc opératoire pour une journée. » Le dimensionnement d'un bloc opératoire est un problème d'optimisation combinatoire qui passe par la résolution de problèmes de programmation et de planification des interventions dans les salles d'opération. La littérature sur le seul problème de dimensionnement est peu importante à notre connaissance. Ce problème, quand il est étudié, l'est en liaison avec les autres problèmes (planification,...). La question est alors : « Combien de salles doit-on ouvrir dans un système existant pour traiter une charge donnée ? ».

Une des mesures permettant une meilleure gestion du bloc opératoire consiste à chercher une solution optimale pour la planification des interventions dans la phase pré-opératoire, sur une ou plusieurs semaines voire plusieurs mois, ainsi que pour l'ordonnancement des interventions dans la phase per-opératoire, pour une journée, voire pour plusieurs jours. La planification des systèmes hospitaliers se rapporte généralement à trois niveaux hiérarchiques de décision (Roth and Dierdonck, 1995) :

- planification stratégique ou à long terme : elle permet de déterminer l'évolution de l'hôpital selon plusieurs tendances et évolutions (démographique, sociologique, technique, ...).
- planification tactique ou à moyen terme : elle consiste, en établissant des prévisions sur la demande de soin, à prévoir les admissions, à estimer les besoins en ressources humaines, matérielles (dimensionnement) et financières de l'hôpital afin de satisfaire la demande.
- planification opérationnelle ou à court terme : elle considère les problèmes d'affectation des patients aux

services et d'affectation et d'ordonnancement des ressources.

La littérature montre plusieurs approches pour les problèmes de planification et d'ordonnancement des interventions en salles d'opération.

(Salvador, 1973) présente un Branch and Bound pour résoudre un problème de flow-shop hybride à k étages sans temps d'attente. (Wittrock, 1985), quant à lui, traite un problème de « flexible flow line ». L'objectif est la maximisation de profit et la minimisation de temps de travail dans le processus.

(Kharraja *et al.*, 2002), (Guinet, 2002) modélisent ce problème comme étant un flow-shop hybride à deux étages. Chaque étage est constitué de plusieurs ressources identiques. Les salles d'opération constituent les machines du premier étage, les lits de la SSPI, celles du second étage. Si l'on fixe comme objectif la minimisation de la date de fin de la dernière intervention (Kharraja *et al.*, 2002), autrement dit la minimisation du makespan ( $C_{max}$ ) et que l'on prend en compte des contraintes telles que le passage de la salle d'opération à la SSPI sans attente et le nettoyage de la salle d'opération (Guinet, 2002), le problème est alors un problème de flow-shop hybride à deux étages.

(Kharraja *et al.*, 2006) identifient le problème de planification des blocs opératoire à un problème de flow-shop hybride à trois étages, le troisième étage correspondant à l'unité de soins intensifs.

Comme le montre Denton dans ses travaux (Denton *et al.*, 2007), dans le contexte des systèmes santé, on trouve également plusieurs articles présentant des heuristiques. Par exemple, pour l'attribution des rendez-vous de consultations externes (Bailey, 1952 ; Soriano, 1966 ; Mercer, 1973 ; Charnetski, 1984 ; Ho and Lau, 1992). (Weiss, 1990) et (Denton and Gupta, 2003) proposent des modèles d'optimisation stochastique pour déterminer des programmes de salles d'opération.

(Dexter *et al.*, 1999) proposent le bin packing pour la planification des interventions et l'ajouts d'interventions supplémentaires, ainsi que des contraintes floues permettant de prendre en compte l'incertitude sur la durée d'intervention. (Guinet et Chaabane, 2003) modélisent le problème de planification des interventions à l'aide d'un programme linéaire en nombres entiers permettant d'affecter une salle d'intervention et un créneau horaire à chaque intervention inscrite au programme.

## 4. DÉMARCHE ET OUTILS PROPOSÉS

### 4.1. Méthodologie en vue de la construction d'un modèle de connaissance générique

(Chabrol *et al.*, 2006) montrent qu'il est intéressant, pour classer les différents types de problèmes rencontrés lors de la modélisation de systèmes complexes, de coupler les approches macroscopique, mesoscopique et microscopique avec les horizons temporels classiques : stratégique, tactique et opérationnel. Nous proposons une

matrice couplant les approches de modélisation et horizons temporels pour la problématique des blocs opératoires. Ces différents horizons demandent des niveaux de granularité différents pour toute étude de modélisation réalisée en vue d'apporter des outils d'aide à la décision (tableau 1). Pour la construction de cet outil, nous avons choisi la méthodologie ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation) (Gourgand et Kellert, 1991) qui permet de concevoir une méthodologie de modélisation d'une classe de systèmes, le modèle générique de connaissance de cette classe, et de réaliser une bibliothèque (ou base) de composants logiciels qui est exploitée pour générer un modèle d'action (programme informatique) pour un système de

la classe. Cette méthodologie a été construite à la suite de nombreuses études concernant la modélisation et l'évaluation des systèmes complexes (systèmes industriels, systèmes de transport,...).

Dans de précédents travaux (Chabrol *et al.*, 2006), nous avons montré l'intérêt d'utiliser cette méthodologie adaptée aux systèmes hospitaliers afin de construire, pour un système donné des modèles de connaissance, d'action et de résultats permettant à la fois une aide à la décision et une action sur le système. Le recueil et la formalisation de la connaissance du système se font par une extraction des entités du système, des relations entre ces entités, des règles de fonctionnements, et de la charge du système.

Tableau 1. Couplages horizons temporels et approches de modélisation

	MACROSCOPIQUE	MESOSCOPIQUE	MICROSCOPIQUE
STRATÉGIQUE	<b>Conception globale</b> Dimensionnement de la structure physique du bloc opératoire.	<b>Conception de processus</b> Définition de l'activité opératoire dans le bloc : spécialités, ambulatoire, urgences.	<b>Conception d'activité</b> Conception détaillée de l'activité opératoire.
TACTIQUE	<b>Configuration des flux dans le système</b> Planification des ressources pour l'ensemble de l'activité.	<b>Configuration d'un processus</b> Planification des ressources de chaque activité.	<b>Configuration d'une activité</b> Planification des ressources pour chaque opération.
OPÉRATIONNEL	<b>Pilotage du système</b> Affectation des ressources humaines et matérielles à l'ensemble des activités.	<b>Pilotage d'un processus</b> Affectation des ressources humaines et matérielles à chaque activité.	<b>Pilotage d'une activité</b> Ordonnement des opérations et affectation des ressources. Réordonnement et réaffectation.
Prise en compte des aléas			

#### 4.2. La démarche proposée

Pour atteindre les objectifs fixés, nous proposons la démarche illustrée par la figure 1.

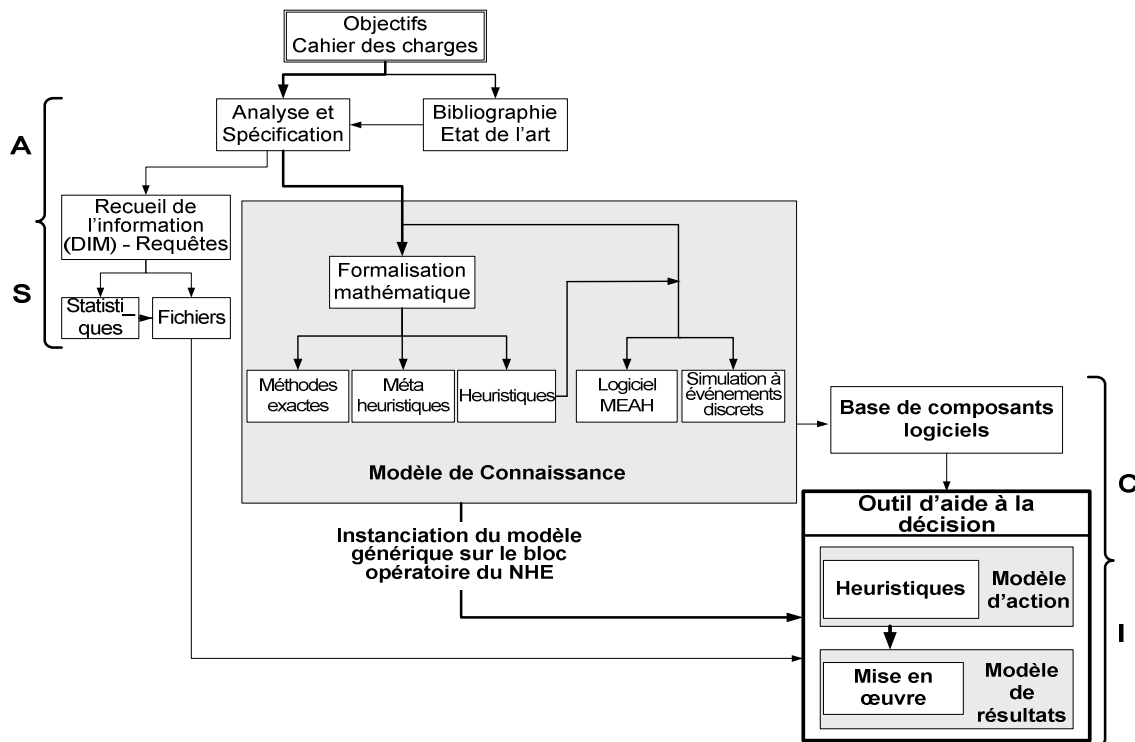


Figure 1. Démarche proposée

En partant du cahier des charges, élaboré avec les futurs utilisateurs et la direction du CHU, et en nous appuyant sur une analyse du domaine et de la littérature, nous avons construit un modèle de connaissance générique du bloc opératoire. L'instanciation de ce modèle sur la structure du futur bloc opératoire du NHE nous permet d'envisager l'exploitation de différentes méthodes de résolution. Nous avons étudié trois possibilités :

- l'application Evalvac proposée par la MeaH (Mission nationale d'expertise et d'audit hospitaliers) qui se place à horizon stratégique et selon un niveau de modélisation macroscopique (prise en compte d'un temps moyen d'intervention par spécialité, de la moyenne des temps d'ouverture par jour des salles d'opération pour chaque spécialité...). Cette application dimensionne les salles par spécialité en fonction de la durée moyenne de séjour (DMS) de la spécialité et du nombre de lits alloués à cette spécialité ;
- un modèle de simulation à événements discrets qui permet de tester différents scénarii en terme, par exemple, de charge de système (nombre d'interventions) ou d'organisation des salles (polyvalentes, spécialisées..) et de voir leur incidence sur le nombre de ressources mobilisées. Cette méthode de résolution se place sur un horizon tactique/opérationnel et selon un niveau de modélisation microscopique (détail des temps d'intervention, des heures d'ouverture de chaque salle...). S'il n'est pas couplé à un module d'optimisation, ce modèle ne permet pas d'optimiser le dimensionnement des salles d'opération.
- la formalisation mathématique que nous avons choisie de résoudre dans un premier temps à l'aide d'heuristiques. Celles-ci nous permettant le plus souvent d'atteindre les bornes inférieures sans avoir recours à des métaheuristiques, que nous utiliserons pour les problèmes d'optimisation multi-critères, et sans être limité en terme de taille du problème (nombre de données à considérer) comme cela peut être le cas avec des méthodes exactes.

Nous développerons donc les heuristiques pour plusieurs raisons :

- elles sont relativement robustes. Bien qu'elles ne garantissent pas l'obtention d'une solution optimale, elles aboutissent généralement à une bonne solution, et dans un temps limité ;
- elles sont assez simples à mettre en œuvre et permettent d'intégrer des informations spécifiques au problème ;
- elles facilitent la prise en compte d'objectifs complexes ;
- elles permettent de travailler avec des jeux de données importants dans un temps très rapide.

Les autres méthodes étudiées permettent de compléter cette approche mais ne permettent pas de répondre à l'ensemble des objectifs de notre cahier des charges.

## 5. MODÈLE DE CONNAISSANCE DU BLOC OPÉRATOIRE ET TRAVAIL SUR LES DONNÉES

En nous appuyant sur nos précédents travaux dans lesquels nous avons défini l'ensemble des entités composant le modèle générique de connaissance des blocs opératoires (Rodier, 2006), nous avons construit les trois sous-systèmes physique, logique et décisionnel, du modèle de connaissance du bloc opératoire du NHE.

Le sous-système logique du bloc opératoire est composé des flux suivants : humain, matériel, financier et informationnel. Nous définissons une opération élémentaire comme l'exécution d'une action qui requièrent des ressources, du temps et des compétences et a pour effet de transformer un état d'entrée (ou objets d'entrée) en un état de sortie (ou objets de sortie).

Le sous-système physique du bloc opératoire comporte :

- des unités de transport,
- une ou plusieurs zones de soins,
- des locaux techniques (décontamination, stockage),
- des locaux à destination du personnel,
- des ressources humaines et matérielles,
- des capteurs.

Nous avons répertorié une cinquantaine d'entités organisationnelles pour le sous-système physique.

Le sous-système décisionnel est essentiellement composé de capteurs, d'un centre de décision (le Conseil de Bloc) et d'un centre de pilotage.

Afin de dimensionner au mieux la future structure, nous avons choisi de travailler sur des données d'activité réelles. Pour cela, nous avons pris l'activité des blocs opératoires actuels de l'Hôtel-Dieu qui composeront le futur bloc central du Nouvel Hôpital d'Estaing. Nous avons travaillé sur le fichier de données du premier semestre 2007 issu du système d'information du CHU. Ce fichier nous a permis d'obtenir, pour chaque intervention chirurgicale, le temps réel d'occupation de la salle par le patient (de l'entrée du patient dans la salle à sa sortie). Ce fichier n'étant pas complet (informations non saisies), un travail statistique a été effectué afin de le compléter à partir des données existantes. Ce travail statistique sur les données a été validé par la direction du CHU et l'ensemble des chefs de services chirurgicaux. Le fichier ainsi obtenu a ensuite permis de générer de nouveaux fichiers d'activité en tenant compte de différentes variations d'activité pour chacune des spécialités chirurgicales.

Ces fichiers constituent les fichiers en entrée de l'outil d'aide à la décision et contiennent les informations suivantes :

- numéro d'intervention ;
- numéro de la spécialité chirurgicale ;
- temps d'occupation de la salle ;
- numéro de la semaine et du numéro du jour initialement prévus (sur le fichier d'activité réelle).

## 6. L'OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

L'outil que nous proposons permet :

- au niveau stratégique (système à concevoir ou système existant) :
  - de dimensionner le nombre de salles d'opérations à construire pour absorber l'ensemble de l'activité,
  - de déterminer les spécificités de ces salles (spécialisées, partagées, polyvalentes),
  - de dimensionner le nombre d'équipes chirurgicales,
- aux niveaux tactique et opérationnel :
  - de dimensionner le nombre de salles d'opérations à ouvrir parmi les salles construites pour absorber l'activité hebdomadaire, quotidienne...
  - de déterminer les spécificités de ces salles (spécialisées, partagées, polyvalentes),
  - de donner une planification et un ordonnancement admissibles pour chaque salle,
  - de dimensionner le nombre d'équipes chirurgicales et médicales par intervalle de temps correspondant à l'ordonnancement proposé.

L'outil, basé sur des heuristiques, est totalement paramétrable afin de permettre aux utilisateurs de tester différents scénarii, concernant notamment :

- l'activité à prendre en compte (nombre de semaines ou de jours d'activité, nombre d'interventions...) avec le détail de l'activité (durée, jour, spécialité pour chaque intervention) ;
- le type de chaque salle : spécialisée, partagée entre plusieurs spécialités, totalement polyvalente ;
- la durée d'ouverture des salles d'opération paramétrable par salle et par jour ;
- le taux de performance souhaité (pourcentage total d'utilisation de la plage d'ouverture) ;
- le temps de mobilisation de la salle après chaque intervention (décontamination...), paramétrable par spécialité, voire, par intervention.

Différentes configurations peuvent ainsi être testées et comparées en faisant varier l'activité, le nombre de jours d'ouverture des salles par semaine, le nombre de salles (ou plages horaires) affectées à une ou plusieurs activités, les temps d'ouverture, les temps de remise en état ainsi que le taux de performance souhaité. Les heuristiques construisent deux matrices : une première pour l'affectation des opérations aux salles (matrice a), la seconde pour l'affectation des opérations aux jours (matrice b), mais l'utilisateur peut également forcer l'affectation de certaines opérations dans la ou les salles souhaitée(s).

Nous proposons trois heuristiques :

*H1 : On place la première opération admissible de la semaine (ayant un temps opératoire inférieur au temps de disponibilité de la salle),*

*H2 : On place la meilleure opération admissible de la semaine (ayant un temps opératoire qui minimise le temps de disponibilité restant de la salle),*

*H3 : On place la meilleure opération admissible de la journée (ayant un temps opératoire qui minimise le temps de disponibilité restant de la salle le jour fixé pour l'opération).*

Les heuristiques permettent d'obtenir, entre autres, le nombre de salles à ouvrir, le taux d'occupation des salles (par jour) et un ordonnancement admissible des opérations pour chaque salle et pour chaque jour.

### Données

n	Nombre d'opérations
sm	Nombre maximum de salles
jj	Nombre de jours
t(i)	Durée de l'opération i
ia(i)	Durée de libération de la salle après l'opération i
jour(i)	Jour prévu pour l'opération i
d(j,l)	Durée d'ouverture de la salle j le jour l
nts	Nombre de types de salle

La figure 2 montre la décomposition du temps d'occupation d'une salle pour chaque intervention tel qu'il est pris en compte dans notre application : nous prenons le temps total de l'intervention  $t(i)$  (de l'entrée du patient en salle à sa sortie) auquel on ajoute le temps de remise en état ( $ia(i)$ ) qui comprend en particulier la décontamination et la préparation éventuelle de la salle avant l'entrée du patient suivant. Nous pouvons également décomposer le temps d'intervention afin d'identifier le temps d'occupation de l'opérateur principal (le chirurgien) et de dimensionner ainsi de manière plus fine les différentes équipes. L'algorithme de principe des heuristiques est donné par la figure 3.

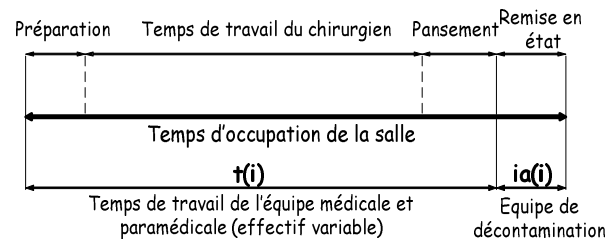


Figure 2. Décomposition du temps d'occupation de la salle pour une intervention

## 7. RÉSULTATS OBTENUS

L'interface de sortie de l'outil d'aide à la décision permet de traiter les nombreux résultats fournis par les heuristiques et de les présenter sous des formes variées (tableaux, graphiques...). Nous reprenons la matrice de couplage horizons temporels et approches de modélisation pour donner un aperçu des résultats obtenus (tableau 2). Nous avons validé l'heuristique sur des données existantes extraites de l'activité opératoire du premier semestre 2007, réalisé dans les différents blocs chirurgicaux de l'Hôtel-Dieu. Nous avons ensuite testé de nombreuses configurations différentes. Le Tableau 3 donne un exemple de configuration. Nous donnons quelques exemples d'états de sortie. La figure 4 donne un aperçu des taux d'occupation de l'ensemble des salles pour la semaine 4 et la figure 5 le nombre d'équipes opératoires mobilisées en parallèle pour un jour donné, pour la spécialité 1. La figure 6 donne les temps d'occupation par salle, par jour, et en tenant

compte des spécialités chirurgicales tandis que la figure 7 donne l'enchaînement des interventions par salle et par jour. D'autres états de sortie donnent la trace détaillée de l'ensemble des opérations en permettant de comparer la planification initiale réalisée au premier semestre 2007 avec celle proposée par les heuristiques.

Les fichiers de sortie donnent en effet pour chaque intervention, le lieu (salle) où elle a été affectée par l'heuristique, le jour et les dates de début et de fin. Cette comparaison a permis à la direction et aux chirurgiens de valider notre approche.

```

ki = 0          [Initialisation de la liste des opérations affectées]
liste = ∅
Tant que toutes les opérations ne sont pas affectées
  Pour k = 1, nts-1      [pour chaque type de salle non polyvalente]
    Soit [j1,j2] l'intervalle des numéros de salles de type k
    Pour j = j1, j2      [pour chaque salle de type k]
      Pour l = 1, jj      [pour chaque jour de la période d'étude]
        S = Σi a(i,j) b(i,l) (t(i) + ia(i))      [calcul du temps d'occupation de la salle j le jour l]
        Si S < d(j,l) Alors      [est-il inférieur à la durée d'ouverture ?]
          On applique l'une des trois règles suivantes : Recherche parmi les opérations non affectées de
          l'opération ic telle que :
            Heuristique H1
              S + t(ic) + ia(ic) ≤ d(j,l) (ic ∉ liste, ic et j compatibles)
              [On affecte la première opération admissible de la période]
            Heuristique H2
              ic minimise d(j,l) - S - (t(i) + ia(i)) (i ∉ liste, i et j compatibles)
              [On affecte la meilleure opération de la période]
            Heuristique H3
              ic minimise d(j,l) - S - (t(i) + ia(i)) (i ∉ liste, i et j compatibles, jour(i) = l)
              [On affecte la meilleure opération de la journée]
          ki = ki + 1
          liste(ki) = ic
          a(ic,j) = 1      [l'opération ic est affectée à la salle j]
          b(ic,l) = 1      [l'opération ic est affectée au jour l]
        Fin Si
      Fin Pour l
    Fin Pour j
  Fin Pour k
  S'il reste des opérations à placer alors on détermine le nombre de salles polyvalentes nécessaires.
  Soit [j1,sm] l'intervalle des numéros des salles polyvalentes
  Pour j = j1, sm      [pour chaque salle polyvalente]
    Pour l = 1, jj      [pour chaque jour de la période d'étude]
      S = Σi a(i,j) b(i,l) (t(i) + ia(i))
      Si S < d(j,l) Alors
        On applique l'une des trois règles suivantes : Recherche parmi les opérations non affectées de
        l'opération ic telle que :
          Heuristique H1
            S + t(ic) + ia(ic) ≤ d(j,l) (ic ∉ liste)
          Heuristique H2
            ic minimise d(j,l) - S - (t(i) + ia(i)) (i ∉ liste)
          Heuristique H3
            ic minimise d(j,l) - S - (t(i) + ia(i)) (i ∉ liste, jour(i) = l)
        ki = ki+1
        liste(ki) = ic
        a(ic,j) = 1
        b(ic,l) = 1
      Fin Si
    Fin Pour l
  Fin Pour j
Fin Tant que

```

Figure 3. Principe des heuristiques

Tableau 2. Résultats obtenus par l'outil d'aide à la décision

	MACROSCOPIQUE	MESOSCOPIQUE	MICROSCOPIQUE
STRATÉGIQUE	Nombre de salles à construire pour absorber l'ensemble de l'activité.	- Nombre de salles à prévoir par activité/spécialité et nombre de salles polyvalentes.	- Découpage de l'activité en temps d'intervention et temps de décontamination.
TACTIQUE	- Nombre de salles à ouvrir par semaine. - Nombre maximal d'équipes en parallèle pour absorber l'activité par période.	- Nombre de salles à ouvrir par activité/spécialité et nombre de salles polyvalentes. - Estimation de la charge de travail des équipes (nombre d'équipes maximal) par activité/spécialité.	- Estimation de la charge de travail des équipes par jour, par activité/spécialité et par intervalle de temps.
OPÉRATIONNEL	- Taux d'occupation global des salles par période (jour, semaine, mois). - Nombre d'équipes en parallèle par type d'équipe (équipe opératoire, opérateur principal, équipe de décontamination).	- Enchaînement des activités/spécialités par salle et par jour. - Estimation de la charge de travail des équipes médicales et paramédicales par type d'équipe (équipe opératoire, opérateur principal, équipe de décontamination).	- Enchaînement des interventions par salle et par jour avec dates de début et date de fin de chaque intervention : ordonnancement admissible. - Découpage des temps d'intervention et estimation du nombre d'équipes (équipe opératoire, opérateur principal, équipe de décontamination..).

Tableau 3. Exemple de configuration

<b>Données :</b>	+ 10 % d'activité pour l'ensemble des spécialités.
<b>Heuristique :</b>	H2 (On place la meilleure opération admissible de la semaine)
<b>Durée d'ouverture des salles :</b>	450 minutes par jour pour l'ensemble des salles
<b>Salles affectées :</b>	Salles 1 à 3 : spécialité 1 Salles 4 à 6 : spécialité 2 Salles 7 à 10 : spécialité 3 Salles 11 à 12 : spécialité 4 Salles 13 à n : polyvalentes ( <b>n déterminé par l'heuristique</b> )
<b>Configuration :</b>	Ouverture de toutes les salles du lundi au vendredi
<b>Taux de performance :</b>	85 % (pourcentage d'utilisation de la salle)
<b>Temps de remise en état :</b>	Temps constant de 30 minutes pour toutes les interventions

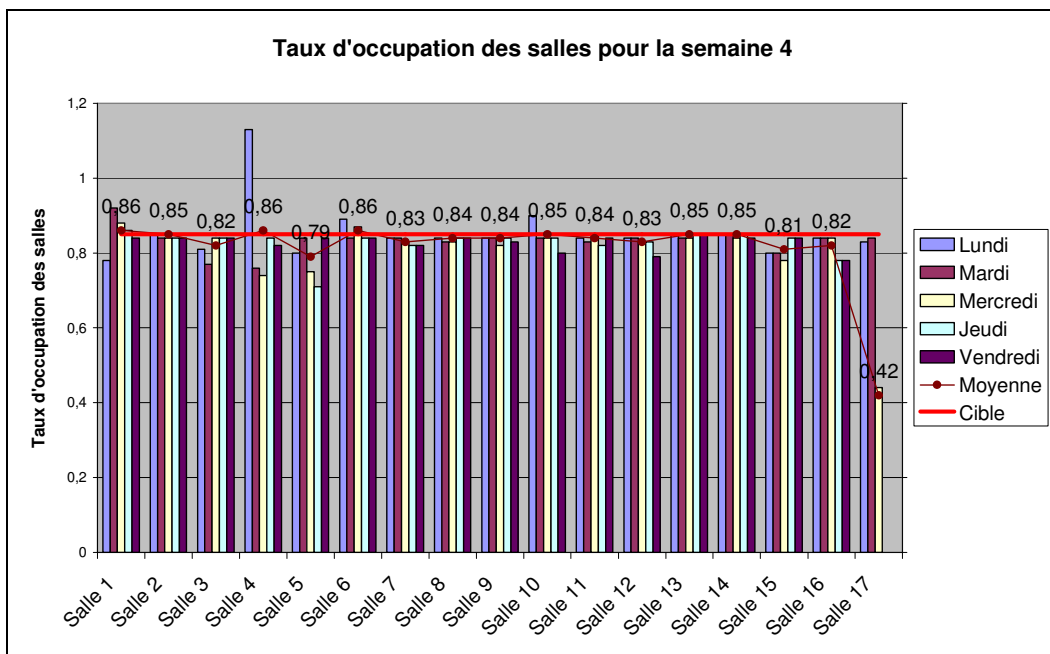


Figure 4. Taux d'occupation des salles pour la semaine 4.

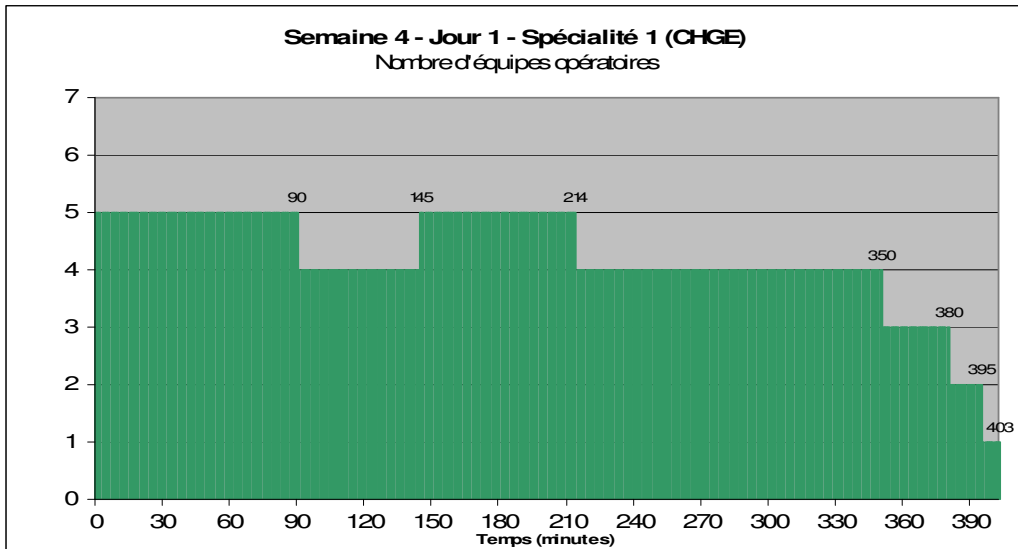


Figure 5. Nombre d'équipes opératoires d'une spécialité pour un jour donné

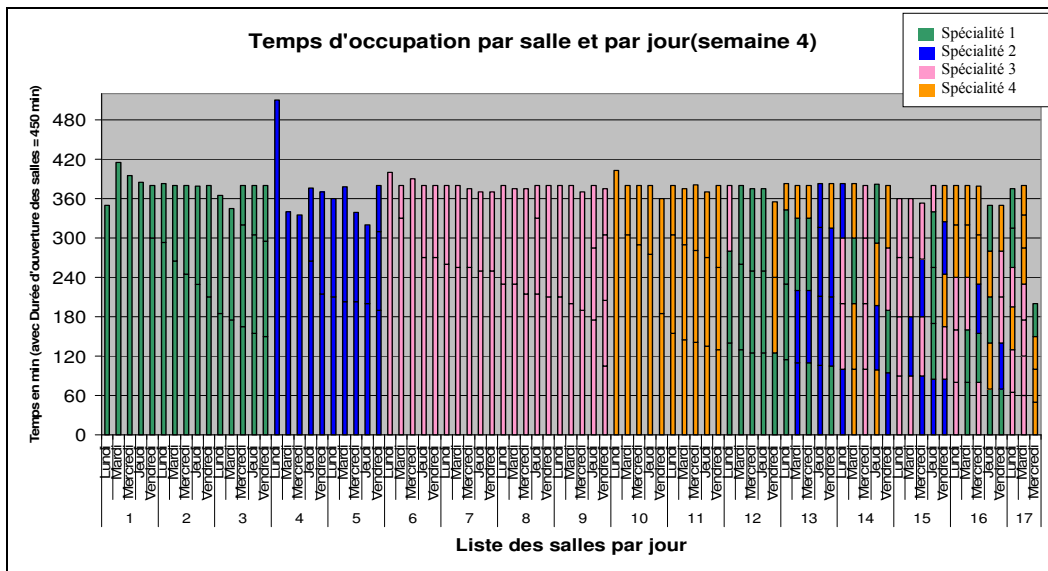


Figure 6. Temps d'occupation par salle et par jour (en minutes)

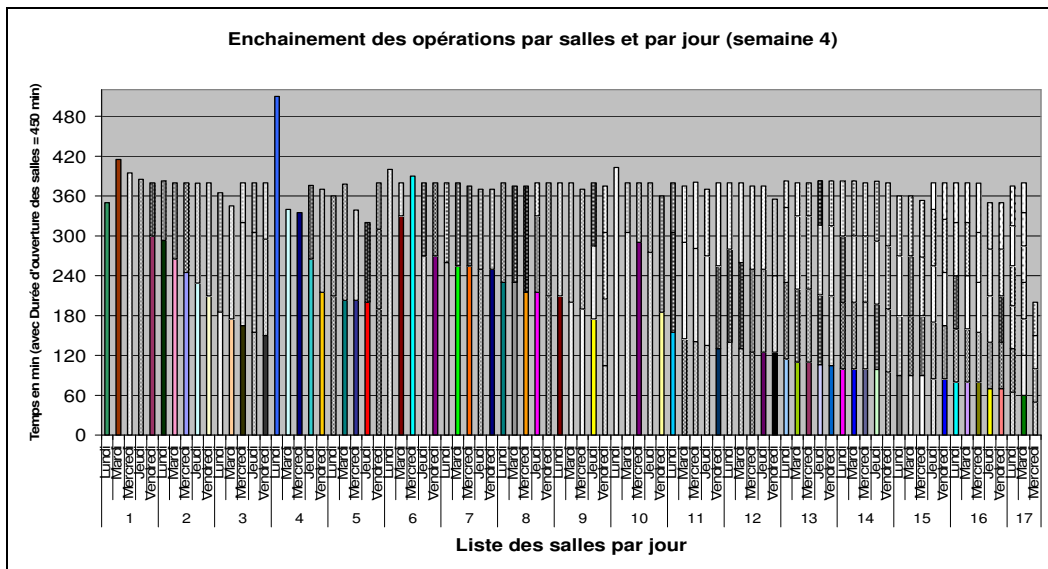


Figure 7. Enchaînement des opérations par salle et par jour

## 8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'outil d'aide à la décision atteint les objectifs fixés en couvrant les différents horizons temporels. Au niveau stratégique, il permet, de dimensionner le nombre de salles d'opérations à construire pour absorber l'activité chirurgicale du Nouvel Hôpital d'Estaing en testant différentes variations d'activités et d'organisations en terme d'ouverture de salle, de taux de performance visé... Il nous permet également aux niveaux tactique et opérationnel de donner de nombreuses informations telles que le nombre de salles à ouvrir chaque semaine, le nombre d'équipes médicales et de décontamination à prévoir, un ordonnancement admissible.

L'intérêt majeur de cet outil est qu'il est complètement paramétrable tout en permettant d'obtenir des résultats très rapidement (quelques secondes suffisent à lancer l'heuristique). En travaillant sur des données réelles plutôt que sur des temps moyens, comme c'est le cas la plupart du temps, nous avons également répondu à la demande des chirurgiens soucieux que l'on prenne en compte la complexité du système et les contraintes dont ils dépendent (contraintes d'affectation, de précédence...). Nous envisageons maintenant de coupler l'heuristique avec des modèles de simulation à événements discrets et des méthodes d'optimisation en étudiant les critères suivants :

- Nombre d'équipes (médicales, de décontamination...);
- Temps d'inactivité des chirurgiens;
- Taux d'occupation des salles.

## RÉFÉRENCES

- Chabrol M., Féliès P., Gourgand M., Tchernev N., 2006, Un environnement de modélisation pour la Supply Chain Hospitalière : application sur le Nouvel Hôpital d'Estaing, *ISI*, Volume 11, Issue 1, pp. 137-162.
- Bailey N., 1952, A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments, with special reference to waiting-times, *Journal of the Royal Statistical*, pp. 185-189.
- Charnetski J., 1984, Scheduling operating room surgical procedure with early and late completion penalty costs, *Journal of Operations Management*, pp. 91-102.
- Combes C., 1994, *Un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers*, Thèse de doctorat, LIMOS, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Denton B. and Gupta D., 2003, A sequential bounding approach for optimal appointment scheduling, *IIE Transactions*, 35: pp. 1003-1016.
- Denton B., Viapiano, J. and Vogl A., 2007, Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty, *Health Care Management Science*, 10: pp. 13-24.
- Dexter F., Macario A. and Traub R., 1999, Which algorithm for scheduling add-on elective cases maximizes operating room utilization? Use of bin packing and fuzzy constraints in operating room management, *Anesthesiology*, 91: pp. 1491-1508.
- Gordon T., Lyles A.P.S. and Fountain J., 1998, Surgical unit time utilization review: Resource utilization and Management implication, *Journal of Medical Systems*, Vol. 12, pp. 169-179.
- Gourgand M., Kellert P., 1991, Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production, *Congrès international de génie industriel*, Tours, France, pp. 191-203.
- Guinet A. and Chaabane S., 2003, Operating theatre planning, *International Journal of Production Economics*, 85: pp. 69-81.
- Hammami S., 2006, *Aide à la décision dans le pilotage des flux matériels et patients d'un plateau Medico-Technique*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Ho C.J. and Lau H.S., 1992, Minimizing total cost in scheduling outpatient appointments, *Management Science* 38: pp. 750-764.
- Jun J.B., Jacobson S.H. and Swisher J.R., 1999, Application of discrete-event simulation in health care clinics: A survey, *Journal of the Operational Research Society* 50, pp. 109-123.
- Kharraja, S., Chaabane, S. et Marcon, E., 2002, Evaluation de performances pour deux stratégies de programmation opératoire de bloc, *Conférence Internationale Francophone d'Automatique, CIFA*, Nantes.
- Kharraja S., Albert F. et Chaabane S., 2006, Bloc opératoire public: application de la stratégie block scheduling, *MOSIM'06*, Rabat, Maroc.
- Mercer A., 1973, Queues with scheduled arrivals: a correction simplification and extension. *Journal of the Royal Statistical Society*, 35:pp. 104-116.
- Meskens N. et Riane F., 2007, Les Hôpitaux face à des défis majeurs, *La Libre Entreprise*, 28/07/2007, p. 7.
- Moison J.-C., Tonneau D., 1999, *La démarche gestionnaire à l'hôpital, Tome 1, Recherche sur la gestion interne*, Paris, Editions Seli Arslan.
- Persson M., 2007, *Modelling and analysing hospital surgery operations management*, Licentiate Dissertation, Blekinge Institute of Technology, Sweden.
- Rodier S., 2006, *Modèles et outils logiciels pour la planification et le pilotage des blocs opératoires*, Mémoire de Master2, Clermont-Ferrand.
- Roth A.V. and Dierdonck R.V., 1995, Hospital Resource Planning: Concepts, Feasibility, and Framework. *Production and Operations Management*, Vol. 4.
- Salvador M.S., 1973, A solution of a special class of flowshop scheduling problems, *Proceedings of the Symposium on the Theory of Scheduling and its Applications*, Springer-Verlag, Berlin (1973), pp. 83-91.
- Soriano A., 1966, Comparison of two scheduling systems, *Operations Research*, 14: pp. 388-397.
- Spangler W.E., Strum D.P., Vargas L.G. and May J.H., 2004, Estimating Procedure Times for Surgeries by Determining Location, Parameters for the Lognormal Model, *Health Care Management Science*, 7, pp. 97-104.
- Trilling L., 2006, *Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier*, Thèse de doctorat, INSA de Lyon.
- Weiss E. N., 1990, Models for determining the estimated start times and case orderings. *IIE Transactions*, 22(2): pp.143-150.
- Wittrock R. J., 1985, Scheduling algorithms for flexible flow lines, *IBM Journal of Research and Development* 29 (1985), pp. 401-412.