

TRANSFORMATION AUTOMATIQUE D'UN MODELE ARIS EN MODELE DE SIMULATION : LE CAS DES FLUX PHARMACEUTIQUES DU CHU BRUGMANN

Virginie ANDRE

CHU de Clermont-Ferrand
Boulevard Léon Malfreyt
63058 Clermont-Ferrand Cedex 1 FRANCE
andre@chu-clermontferrand.fr

Olivier ROUX

Louvain School of Management et FUCaM
Chaussée de Binche, 151
7000 Mons, BELGIQUE
roux@fucam.ac.be

RESUME : *L'utilisation de la simulation est de plus en plus fréquente dans les milieux productifs (production de bien et de services) tant pour la conception, son dimensionnement que pour sa réingénierie. L'utilisation de la simulation nécessite une phase de modélisation, ceci afin de passer du modèle réel au modèle conceptuel puis au modèle de simulation. Malheureusement le passage entre le modèle conceptuel et le modèle de simulation est généralement dépendant de l'expertise et de l'expérience de l'acteur qui le réalise. L'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) propose de formaliser ce passage nommé transformation, afin de pérenniser dans l'entreprise cette connaissance et de garantir la cohérence entre les modèles. Nous présentons dans cet article la génération partielle d'un modèle de simulation conçu avec l'outil RAO (Ressource Action Opération) à partir d'un modèle conceptuel formalisé avec l'outil ARIS (Architektur integrierter Informationssystem), dans le cas de la reconfiguration de la pharmacie du CHU Brugmann.*

MOTS-CLES : *IDM, transformation, modélisation, ARIS, simulation à événements discrets, RAO*

1 INTRODUCTION

De nombreux hôpitaux doivent faire face à la diminution des budgets alloués aux systèmes de santé. Cette réalité économique se retrouve dans de nombreux pays européens dont la Belgique. Ces hôpitaux sont entre autres amenés à réorganiser leurs flux logistiques afin de réduire leurs coûts de fonctionnement (Di Martinelly *et al.* 2007).

Afin de mener à bien cette phase de réingénierie des services, les décideurs s'appuient sur des outils d'aide à la décision leur permettant d'évaluer la performance de la configuration existante, des différents scénarii possibles et ainsi pouvoir déterminer l'intérêt respectif de ces derniers. Ces outils nécessitent tout d'abord une phase de modélisation permettant d'obtenir le modèle de connaissance. Ce dernier est traduit en modèle d'action, le plus souvent sous forme d'un modèle de simulation qui permettra d'évaluer la performance du système considéré.

En règle générale, cette mission de construction d'un outil d'aide à la décision est attribuée à un consultant spécialisé dans la modélisation des entreprises. La construction d'un modèle d'action se réalise en plusieurs étapes, suivant la méthodologie utilisée. Nous prenons

comme base que le recueil de données avait déjà été effectué, dans notre exemple lors de précédentes études sur le site. Pour la modélisation de la connaissance, nous avons fait le choix de l'outil ARIS (Kelton *et al.* 2006) pour décrire les processus et les diagrammes de séquence d'UML pour l'enchaînement de ceux-ci.

Les différentes étapes de modélisation sont relativement indépendantes les unes des autres, et aucune méthodologie ne définit les phases de passage entre ces modèles. Cela signifie que pour la transformation du modèle de connaissance en modèle d'action, le consultant doit uniquement faire appel à son expérience et à ses connaissances. Ces différentes étapes sont souvent lourdes à mettre en place et le résultat n'est pas toujours cohérent avec les modèles de connaissance réalisés.

Nous proposons d'automatiser le passage du modèle de connaissance vers un squelette du modèle d'action à l'aide d'un ensemble de transformations. Ce modèle devant être complété pour obtenir un modèle de simulation exécutable. Les résultats de celui-ci seront mis en forme avec Excel afin d'en faciliter la manipulation et l'exploitation, sur base de l'exploitation de la trace de simulation réalisée par un outil développé dans le cadre de ce projet.

L'objectif de cet article est de présenter le lien que nous avons mis en place entre les modèles de connaissance et d'action qui permettrait de passer de l'un à l'autre d'une manière relativement automatisée. Dans la seconde partie, nous présenterons un bref état de l'art concernant le sujet : la transformation des modèles. La section 3 expose le site du centre hospitalier Brugmann ainsi que la problématique posée. Dans la section suivante, nous présenterons le modèle de connaissance dont le recueil de données avait été réalisé. La section 5 présente le modèle de simulation conçu avec l'outil RAO. Et Nous concluons avec quelques remarques et perspectives.

2 ETAT DE L'ART

Cet état de l'art vise à présenter les différentes méthodologies employées dans le cadre de cet article et n'a pas pour objectif d'être une présentation exhaustive des différentes approches existantes.

(Gourgand et Kellert 91) ont proposé une méthodologie pour la modélisation des systèmes complexes nommée ASCI : « Analyse – Spécification – Conception – Implémentation ». Cette méthodologie est utilisée dans de nombreux domaines tels que :

- la modélisation des systèmes urbains (Chabrol *et al.* 2006a),
- la modélisation des systèmes de production (Gourgand et Kellert 91),
- la modélisation des systèmes hospitaliers (Chabrol *et al.* 2006b).

La méthodologie ASCI propose une démarche pour l'étude d'un domaine en utilisant quatre approches distinctes :

- l'analyse qui permet de comprendre le système et de modéliser le domaine,
- la spécification qui modélise les données nécessaires à la résolution des problèmes soulevés,
- la conception qui correspond à l'élaboration de briques logicielles qui serviront de squelette au modèle d'action (MA),
- l'implémentation qui permet de hiérarchiser les centres de décisions et de connecter les briques entre elles.

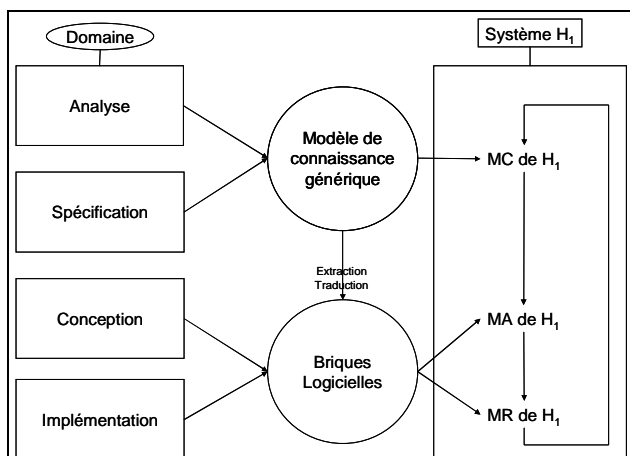


Figure 1 : Méthodologie de modélisation ASCI

La méthodologie ASCI préconise l'utilisation d'un processus de modélisation itératif (Figure 1) qui se compose de 4 étapes :

- la construction d'un modèle de connaissance à partir de l'observation du système ou de ses spécifications,
- l'élaboration d'un modèle d'action à partir du modèle de connaissance concevant puis implémentant le système ainsi décrit,
- l'exploitation du modèle d'action pour obtenir les valeurs des critères de performance contenus et organisés dans un modèle de résultat et l'analyse de ces valeurs en vue d'appréhender et d'améliorer le comportement du système,
- la modification éventuelle des valeurs des caractéristiques du système dans le but de modifier les valeurs des critères de performance ou le comportement du modèle par rapport au système réel.

Le modèle de connaissance est une description de la structure et du fonctionnement du système. Pour cela, on doit disposer de méthodes, d'outils d'analyse et de spécifications qui permettent de recueillir et de structurer la connaissance du système.

Pour réduire la complexité de la construction du modèle de connaissance, une décomposition systémique du système en trois sous-systèmes complémentaires, communicants et disjoints deux à deux, est réalisée. Ces sous systèmes sont :

- le sous-système physique (SSP) décrit l'ensemble des ressources matérielles, humaines, immobilières utilisées dans le système,
- le sous-système logique (SSL) représente l'ensemble des flux physiques, humains, d'informations et financiers,
- le sous-système décisionnel (SSD) permet de mettre en évidence les règles de gestion qui régissent le traitement des activités.

Le modèle d'action est une traduction du modèle de connaissance dans un modèle mathématique, de simulation, markovien, ... Il est directement exploitable et évalue les performances du système étudié, il pourra également être désigné comme « modèle exécutable ». Plusieurs modèles d'action peuvent être déduits d'un même modèle de connaissance selon le formalisme choisi pour construire le modèle d'action et/ou le degré de finesse choisi. Le concepteur doit alors faire un choix qui sera déterminé par la granularité spatio-temporelle nécessaire à la prise de décision désirée.

Pour chaque système étudié, la difficulté se situe lors du passage d'un modèle de connaissance au modèle d'action.

D'après (Fleurey 06), la transformation de modèle se définit comme un « programme dont les entrées et les sorties sont des modèles ». En d'autres termes, le fait de réaliser un modèle de connaissance d'un système particulier puis de concevoir le modèle d'action s'y rapportant, constitue une transformation de modèle. Cette transformation ne se fait, en général, pas automatiquement. Seul le concepteur réalise cette transformation.

Dans la littérature, (Jezequel 2005) différencie deux types de transformations de modèles :

- les transformations de modèles en texte,
- les transformations de modèle à modèle.

Pour parvenir à transformer les modèles, (Fleurey 2006) propose un découpage des outils disponibles en quatre catégories :

- les outils de transformations génériques,
- les langages de script,
- les outils conçus spécialement pour faire de la transformation de modèle,
- les outils de méta-modélisation.

Pour illustrer les transformations de modèles, nous allons citer des exemples de la littérature. (Combemale *et al.* 2006) effectue des tests sur le comportement de la transformation de diagramme de classe UML réalisée par deux outils différents :

- le langage de méta-programmation orienté objet, Kermata,
- le langage de transformation de modèle, ATL.

Le langage Kermata est développé par l'équipe Triskell à Rennes et permet de faire progresser l'accomplissement d'activités recensées. Le méta-modèle augmenté utilisé pour l'exemple est constitué d'une classe « process », elle-même composée de différentes activités « Activity ». (Combemale *et al.* 2006) propose un programme décomposé en deux opérations :

- une opération de démarrage, permettant le démarrage successif des activités,
- une opération de progression, permettant leur réalisation.

ATL (ATLAS Transformation Language), développé par l'équipe de recherche ATLAS¹ INRIA² et LINA³, est un langage de transformation hybride proposant des structures déclaratives et impératives. Il se compose : d'un langage de transformation, d'un compilateur couplé avec une machine virtuelle, d'un IDE s'appuyant sur Eclipse.

¹ Gestion des données complexes dans les systèmes distribués

² Institut national de recherche en informatique et en automatique

³ Laboratoire d'Informatique de Nantes Atlantique

ATL permet le passage d'un modèle de base (UML) à un modèle cible (Java par exemple) à l'aide d'un module dont l'exécution se réalise en trois étapes :

- initialisation du module : les attributs du système sont initialisés,
- mise en correspondance des éléments du modèle source et des éléments du modèle cible : chaque règle de transformation affectée à un élément source permet la création des éléments cibles correspondants (déclarations),
- initialisation cible : les éléments du modèle cible sont initialisés et les règles (do) sont exécutées (impératif)

Pour conclure sur les tests effectués (Combemale *et al.* 2006), nous donnons un état des lieux et des perspectives d'évolution des outils. Concernant l'état des lieux, les auteurs indiquent le manque de maturité des outils, la difficulté de tester une transformation à cause de nombreuses contraintes techniques. En ce qui concerne les perspectives de développement, il faut favoriser l'interopérabilité entre les outils avec un haut niveau d'abstraction.

Nous avons remarqué que les principaux travaux effectués sur le sujet ne concernent que la modélisation orientée objet avec le langage UML, mais n'utilisaient pas la modélisation orientée processus. (Barbier 2006), (Blanc *et al.* 2006), (Savaton *et al.* 2006) traitent tous des transformations de diagramme UML ne permettant pas d'envisager un autre point de départ tel que la modélisation par processus.

Nous allons énoncer les principes permettant de relier le modèle de connaissance au modèle d'action suivant l'identification des différents éléments à relier. Nous les appliquerons dans le cas d'un modèle de connaissance orienté processus (ARIS) vers un modèle d'action approche transaction (RAO (Artiba *et al.* 1998)). Cette application sera réalisée dans le cadre de l'étude des flux pharmaceutiques du Centre Hospitalier Brugmann à Bruxelles, présentée dans la section suivante.

3 CHU BRUGMANN

Nous illustrerons notre approche dans le cas d'un hôpital belge : le Centre Hospitalier Universitaire de Brugmann (CHUB). Cet hôpital est composé de plusieurs sites dont le site Horta. Ce dernier est un site pavillonnaire, regroupant 50 spécialités médicales, qui comprend un total de 634 lits.

Dans la configuration actuelle de l'hôpital, les flux pharmaceutiques proviennent d'un bâtiment excentré par rapport aux unités de soins ce qui entraîne un délai d'approvisionnement important. De plus, les ressources matérielles de la pharmacie sont obsolètes, et il est

envisagé de les remplacer par du matériel neuf. Enfin, l'intégration de nouvelles technologies dans le processus de livraison permettrait d'améliorer le suivi des produits et aurait un impact sur les délais d'approvisionnement des produits.

Le problème servant de support au développement du modèle de simulation est le dimensionnement des effectifs et des ressources matérielles nécessaires à la distribution des produits pharmaceutiques aux unités de soins.

4 MODELE DE CONNAISSANCE

Nous avons décrit la méthodologie de modélisation employée pour la construction du modèle de connaissance associé à la construction de l'outil d'aide à la décision correspondant aux attentes des managers.

La méthodologie ASCI propose une démarche pour l'étude du domaine de la Supply Chain Hospitalière (SCH) en utilisant quatre approches distinctes (Figure 2) :

- l'analyse qui permet de comprendre le système et préparer la modélisation du système,
- la spécification qui permet de collecter et hiérarchiser les données qualitatives et quantitatives du système (le CHUB),
- la conception qui correspond à l'élaboration du programme qui aura pour but de donner des réponses aux questions posées par le manager,
- l'implantation qui correspond aux nombreuses hypothèses qui seront testées afin d'évaluer l'ensemble de ces scénarii et de sélectionner la meilleure.

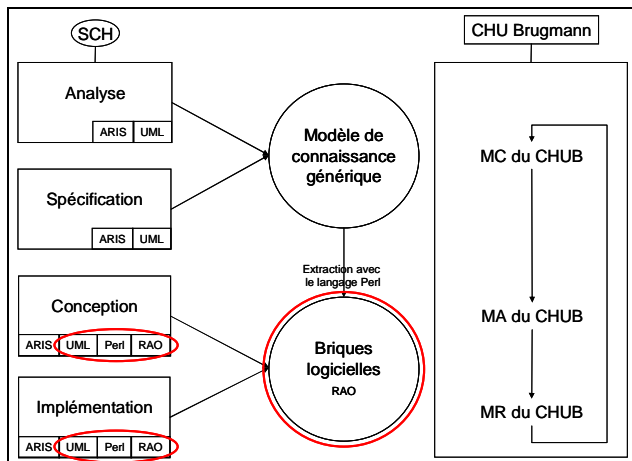


Figure 2 : Méthodologie de modélisation ASCI

Grâce au modèle générique de connaissance du domaine, nous obtenons un modèle correspondant au système CHUB. Le modèle d'action est conçu à partir des informations recueillies dans le MC. Les résultats sont obtenus à partir de ceux du MA. Une fois les résultats

obtenus et analysés, ceux-ci peuvent remettre en cause le modèle conçu. Ce processus est itératif.

Sous-systèmes	Modèles ARIS	Nature de la description
SSD	1 organigramme	Personnel
SSL	1 diagramme de chaîne de plus value	Activités de la pharmacie
	1 diagramme de flux d'informations	Flux d'informations entre la pharmacie et les unités de soins
	1 arbre de prestations / produits	Prestations proposées
	1 organigramme	Relations entre les services
	11 chaînes de processus événementielles	Processus des prestations
SSP	1 ressource technique	Ressources matérielles
	6 arbres de produits	Préparations fabriquées
	9 Organigrammes	Bâtiments et locaux

Tableau 1 : Tableau des modèles utilisés pour la modélisation des trois sous-systèmes et de chaque élément décrit

L'ensemble de la modélisation est synthétisé dans le tableau 1. L'organigramme pour le SSD décrit l'ensemble des acteurs intervenant dans la prise de décision. Cet organigramme est celui du personnel.

L'ensemble des processus est décrit dans des modèles de Chaînes de Processus événementielles (CPE). Afin de relier les modèles, nous avons construit un diagramme de Chaîne de plus value qui met en évidence les étapes importantes à réaliser par les agents de la pharmacie. Chaque élément de cette chaîne, est relié à un ou plusieurs modèle(s) qui permet(tent) de le décrire à un niveau de détails plus fins.

La pharmacie a pour objectif d'approvisionner les unités de soins en produits pharmaceutiques, cet objectif entraîne un ensemble d'activités devant être réalisées dans un ordre précis. Celles-ci peuvent faire appel à une description des produits commandés et/ou fabriqués ainsi que des prestations de services telles que les livraisons (Arbre de prestations/produits). Le diagramme de flux d'informations permet de mettre en évidence les communications qui existent entre les unités de soins et la pharmacie avec le support utilisé pour la passation de commande.

Pour le SSP, il faut identifier les différentes ressources et éléments qui interviennent dans le système. Nous avons donc utilisé plusieurs modèles différents pour chaque type de ressources différentes : arbre de produits pour les catégories de produits, un organigramme pour la description des locaux. Nous avons construit un arbre de produits décrivant les principales catégories de produits puis pour chaque catégorie, nous avons détaillé les catégories de produits indépendamment les unes des autres. Nous obtenons donc 9 arbres de produits pour décrire l'ensemble des produits pharmaceutiques. Nous avons procédé de la même manière pour la description des locaux.

Le CHUB prévoit la construction d'un nouveau bâtiment permettant ainsi de réaliser des interventions chirurgicales dans des locaux neufs et adaptés, et de loger les patients dans des unités de soins plus fonctionnelles. Ce nouveau bâtiment (bâtiment E) abritera aussi, à terme, trois secteurs d'approvisionnement à savoir : la pharmacie, les achats et la stérilisation.

Les produits sont actuellement transportés de deux manières différentes : dans des armoires ou sur des palettes. Les agents utilisent alors soit des tracteurs soit des transpalettes. Dans le souci d'amélioration des conditions de livraison des produits, les chariots deviendront les seuls contenants utilisés pour la distribution des produits dans les bâtiments de l'hôpital. de plus, afin d'éviter les pertes de produits, des systèmes de suivi des livraisons seront mis en place. Actuellement deux sont à l'étude :

- des bons de livraison émargés par les responsables de secteurs,
- une validation de la réception des produits par RFID.

Nous avons décrit le système étudié avec l'outil ARIS en le décomposant en trois sous-systèmes. Cette modélisation a été validée par les responsables de la pharmacie et par le responsable de la Cellule de Programmation et d'Organisation du CHUB.

Pour compléter la modélisation et identifier l'enchaînement des patterns qui regroupent des fonctions réparties sur plusieurs CPe, nous avons construit un diagramme de séquence avec le langage UML. Ainsi nous avons mis en évidence le début et la fin des activités simulées et les boucles éventuelles. Ce diagramme sert donc de trame pour la construction du modèle d'action.

5 PRESENTATION DU MODELE D'ACTION

Nous avons construit le modèle d'action en suivant le diagramme de séquence que nous avons construit pour décrire l'enchaînement des tâches à accomplir par les différents acteurs identifiés. Le système se délimite à la distribution des produits de la pharmacie par les agents hospitaliers.

Nous avons donc identifié l'ensemble des étapes à mettre en place pour simuler l'activité de distribution et de collecte des produits pharmaceutiques. Les patterns permettent de mettre en place et d'initialiser l'ensemble des éléments intervenant dans le modèle d'action.

Afin de construire le modèle d'action, nous avons utilisé les règles de traduction décrites dans le tableau 2. A partir de deux CPe décrivant le processus de distribution des contenants, nous avons obtenu une première série de patterns (une première série de 15 patterns pour la distribution des armoires et une série de 9 patterns pour

celle des palettes). Nous avons donc obtenu une liste de patterns qui n'étaient pas dans un ordre permettant de réaliser une simulation. Afin d'ordonner les patterns, nous avons ensuite utilisé le diagramme de séquence.

Les activités de transport des produits sont donc décrites dans une série de 9 patterns pour le transport des palettes, et de 15 patterns pour le transport des armoires obtenus avec l'extraction des informations contenues dans ARIS. Après la création et l'ordonnement de ces patterns, il faut encore les compléter avec les différents éléments de traitement des activités comme la diminution du nombre de contenants en attente, la diminution du nombre de ressources employées,... dans cet état le modèle de simulation n'est pas encore complet. En effet, un certain nombre de patterns manquent encore pour l'initialisation du système.

Nous avons donc créé des patterns supplémentaires qui pourront gérer l'initialisation du modèle. Les patterns d'initialisation sont au nombre de 13 et permettent de définir les agents avec leur planning et de définir les armoires, les palettes, les tracteurs et les transpalettes.

Pour récupérer les résultats, nous enregistrons une trace de la simulation dans un fichier appelé TRC que nous exploitons grâce à un programme en langage Perl qui traite les résultats et les inscrit dans un fichier Excel. Nous récupérons :

- les délais de livraison pour chaque unité de soins,
- le nombre d'armoires en attente dans les unités,
- le nombre d'armoires et de palettes livrées et le nombre restant,
- le nombre d'heures travaillées par agents, leurs heures supplémentaires et le taux d'occupation,
- la distance parcourue par agent,
- le nombre d'armoires nécessaires pour effectuer les livraisons,
- la durée moyenne des tournées de livraison.

Nous avons obtenu un squelette de modèle de simulation qui correspond au modèle de connaissance préalablement construit. Cette trame est ensuite complétée dans le but de pouvoir évaluer le système étudié.

6 PRESENTATION DU LIEN ENTRE LE MODELE DE CONNAISSANCE ET LE MODELE D'ACTION :

La figure 2 présente la méthode que nous allons employer pour transformer le modèle de connaissance en modèle d'action.

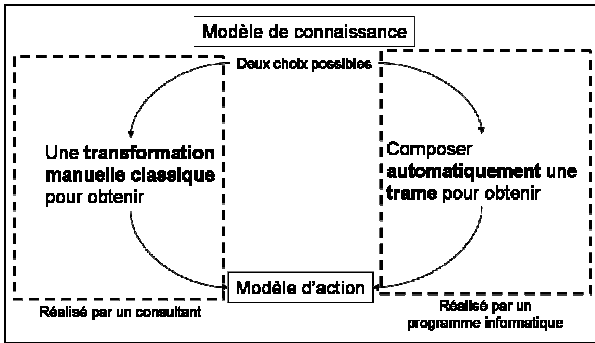


Figure 3 : Méthode employée

Cette nouvelle méthodologie permettra de construire automatiquement une trame du modèle d'action que nous compléterons par la suite avec le code manquant. Pour cela, nous avons utilisé divers outils comme ARIS pour la construction du modèle de connaissance, RAO pour le modèle d'action et Perl pour permettre le passage du modèle de connaissance au modèle d'action. Le choix du langage Perl est uniquement basé sur sa capacité à manipuler les chaînes de caractères (expressions régulières) et pourrait aisément être remplacé par un autre langage.

Afin de construire ce modèle d'action, nous avons défini des règles de traduction qui permettent de transformer les informations du modèle de connaissance en informations exploitables dans le modèle de simulation.

Cette démarche permet d'attribuer aux éléments constitutifs d'une Chaîne de Processus événementielle (CPE) une correspondance par rapport aux éléments RAO (tableau 2).

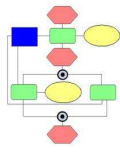
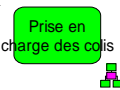

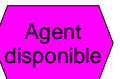


Éléments ARIS	Description	Transformation RAO
	Chaîne de processus événementielle : elle permet de retrouver l'ordre des activités à réaliser pour réaliser la tâche décrite	Dans le fichier OPR de RAO : \$Operations Prise_en_charge_des_colis : Prise_en_charge_des_colis_pattern Realisation_du_trajet : Realisation_du_trajet_pattern ... \$End
	Fonction qui représente plusieurs activités à réaliser à un endroit précis et affectées à une ou plusieurs personne(s)	Titre du pattern dans le fichier RAO : \$Pattern Prise_en_charge_du_colis : operation ... \$End
	Fonction qui ne représente qu'une seule activité à réaliser par une ou plusieurs personne(s)	Titre d'une règle dans le fichier RAO : \$Pattern Realisation_du_trajet : rule ... \$End
	Événement qui décrit l'état du système avant et après une activité	Conditions de réalisation du pattern ou de la règle : Choice from Agent.Etat_Agent = Disponible
	Identification de la ressource ou du poste de travail à affecter à l'activité à laquelle il est rattaché	Affectation d'un poste à un pattern ou de la règle : \$Relevant_resources Agent : Un_Transporteur Keep Keep
	Identification du site dans lequel se déroule l'activité	Affectation d'un poste à un pattern ou à une règle : Pharmacie : Secteur Keep NoChange Ici la ressource ne change jamais d'état, par conséquent NoChange
Les attributs de simulation des fonctions Temps de traitement : Réparti uniformément (a= 0000:00:04:00 , b= 0000:00:13:00)	Paramétrage des temps de traitement des activités qu'ils renseignent	Affectation des temps dans un pattern ou une règle ; \$Time = Prise_en_charge_du_colis (4.0/60, 13.0/60) Description dans la feuille FUN \$Sequence Prise_en_charge_du_colis : real \$Type = uniform 123456789 \$End

Tableau 2 : Correspondances entre ARIS et RAO

Pour commencer, nous devons recueillir les données du modèle de connaissance afin de les répercuter sur le modèle d'action. Nous avons procédé en trois étapes : l'identification et l'enregistrement des éléments ARIS, puis recensement des attributs des différents éléments d'ARIS et pour finir la retranscription sur le modèle d'action (fig. 3).

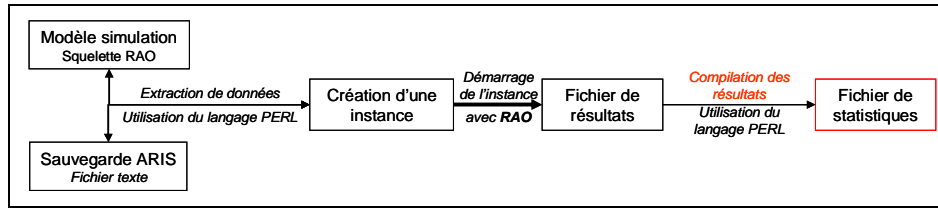


Figure 4 : Principe du lien entre le modèle de connaissance et le modèle d'action

Pour chacune des fonctions décrites, il faut récupérer les attributs renseignés par l'utilisateur. Une fois les données du modèle de connaissance récupérées, il nous faut encore les placer dans les fichiers adéquats pour que la simulation prenne bien en compte les données de l'utilisateur contenues dans le modèle de connaissance.

Chacune des fonctions décrites correspond à un pattern dans le modèle d'action. Nous pouvons les relier de la manière décrite dans le tableau 3.

Fonctions ARIS	Pattern RAO
Prise en charge des colis	Chariots prêts / Palettes prêtes
Préparation du trajet	Formation convoi
Livraison du colis	Trajet

Tableau 3 : Table de correspondance entre les éléments ARIS et RAO

Cette table nous permet d'appliquer les modifications directement sur les patterns concernés. Lors de l'extraction nous récupérerons les données des attributs ARIS que nous inscrivons sur le modèle d'action.

7 RESULTATS

Lors de notre étude au sein du CH Brugmann, nous avons identifié différents problèmes pouvant être évalués grâce au modèle de simulation. Dans le cas de cet hôpital, le regroupement des secteurs d'approvisionnement tels que les achats, la stérilisation et la pharmacie devaient être étudiés et pouvaient être remis en cause. L'ancienne organisation correspond à la situation où les secteurs d'approvisionnement sont répartis sur le site, l'ancienne organisation « + » correspond à la distribution des produits avec le système des palettes et des chariots à partir des nouveaux locaux (les secteurs sont placés dans les sous-sols du nouveau bâtiment E), et pour la nouvelle organisation, le suivi des livraisons sera assuré par des bons de livraison qui doivent être obligatoirement émargés, leur évaluation permettra de valider le choix du scénario à tester de manière plus approfondie. L'ensemble des scénarii est présenté dans le tableau 4.

Le tableau 5 présente le nombre d'éléments circulant dans le système dans le cas des différents scénarii.

Dans le cas des deux premiers scénarii, les chariots n'étant pas complètement remplis, les quantités de chariots restent inchangées dans le cas du dernier

scénario, après discussion avec les responsables des secteurs d'approvisionnement. Les chariots prévus pour nos scénarii sont au nombre de deux chariots par bâtiments, soit 32 chariots au total. Pour le dernier scénario, nous en avons prévus un nombre illimité afin d'évaluer le nombre maximal de chariots nécessaires.

Hypothèses	Ressources (humaines et matérielles)	Conditions (Emplacement des secteurs)
Ancienne organisation	3 transporteurs 2 tracteurs 2 transpalettes	Ancien bâtiment
Ancienne organisation +		Nouveau bâtiment
Nouvelle organisation	3 transporteurs 2 tracteurs	Nouveau bâtiment Signature BL obligatoire

Tableau 4 : Présentation des scénarii testés

Eléments circulants	Ancien Bâtiment	Ancienne Organisation +	Nouvelle organisation
Palette(s) à livrer	249	249	0
Chariot(s) à livrer	642	642	642
Nombre de chariots prévus	2 dédiés par bâtiment	2 dédiés par bâtiment	Illimité

Tableau 5 : Nombre d'objets circulant dans le système

Après avoir paramétré le modèle de simulation, nous avons lancé l'exécution de celui-ci afin d'évaluer l'activité de livraison et de collecte des chariots et palettes sur 19 jours. Les agents sont au nombre de 3 dont 2 sont à plein temps et 1 à mi-temps. Dans le cas du dernier scénario, nous avons obtenu le résultat suivant : 21 chariots sont utilisés au maximum pour assurer les livraisons de produits des 3 secteurs d'approvisionnement.

Le tableau 6 présente les résultats obtenus concernant les temps d'attente des agents.

Nous pouvons remarquer que le scénario « Anc Org^o + » donne des résultats intéressants concernant l'utilisation des agents car ils ne sont occupés qu'à 29 % de leur temps. Dans le troisième cas, nous avons aussi mis en place une procédure de suivi des livraisons de produits en obligeant l'agent à obtenir une signature sur le bon de livraison accompagnant la livraison des chariots. Etant

donné l'emploi du temps du personnel soignant, le temps d'obtention d'une signature peut être long. Dans le dernier scénario, les résultats sont nettement améliorés grâce à l'utilisation de la technologie RFID pour le suivi des livraisons. Elle constitue la meilleure solution en termes de taux d'occupation des agents.

Scenarii	Anc Bat	Anc Org° +	Nouv Bat - Nouv Org°	RFID
Agent 1	53.49	50.02	62.24	48.7
Agent 2	32.65	24.52	33.86	14
Agent 3	17.92	12.96	6.18	2.17
Moyenne	34.69	29.17	34.09	21.6

Tableau 6 : Résultats concernant les temps d'attente

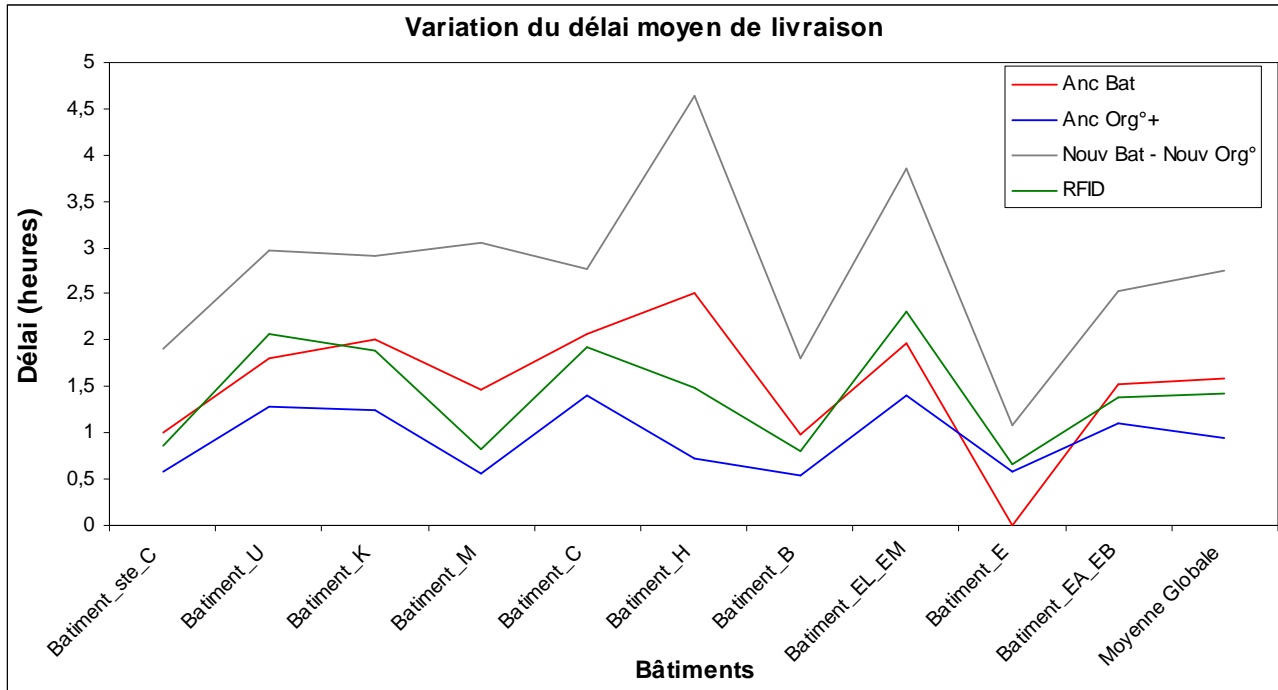


Figure 5 : Variation du délai moyen d'approvisionnement des produits.

En termes de délais d'approvisionnement, nous pouvons observer les résultats présentés dans la figure 4.

Le deuxième scénario permet de livrer les produits plus rapidement mais les bons de livraison ne sont pas émarginés. Avec la troisième organisation, bon de livraison et chariots uniquement, les délais de livraisons sont triplés par rapport aux résultats du deuxième scénario.

Afin d'optimiser le nombre de chariots et de tracteurs utilisés dans le système, nous avons réalisé différents tests. Les hypothèses testées présentées dans le tableau 7 correspondent aux variations du nombre de chariots dans le cas du troisième scénario.

Hypothèses	1	2	3	4	5	6	7
Chariot(s) à livrer	642	642	642	642	642	642	642
Nombre chariots	21	20	15	14	13	12	11

Tableau 7 : Hypothèses testées

Les hypothèses testées sont identiques selon le nombre de tracteurs, seul le nombre de chariots disponibles varie. Le but de ces tests est de déterminer le nombre critique de chariots à partir duquel le taux de service n'est plus de 100%. Le tableau 8 présente les résultats successivement pour 3 puis 2 tracteurs.

Hypothèses	1	2	3	4	5	6	7
Nombre de chariots utilisés	21	20	15	14	13	12	11
Chariot(s) livrés 2 tract	642	642	642	642	639	638	575
Chariot(s) livrés 3 tract	642	642	642	642	641	641	575

Tableau 8 : Résultats obtenus en fonction du nombre de chariots et du nombre de tracteurs

Nous observons qu'à partir d'une quantité de ressources critiques, le nombre de chariots livrés diminue. Entre 14 et 12 chariots disponibles, les agents

assurent encore 99% des livraisons et à partir de 11 chariots disponibles, les livraisons ne sont assurées qu'à 90%. Nous remarquons aussi que dans le cas d'un parc de 10 chariots disponibles, le nombre de chariots livrés n'est plus que de 17, soit moins de 3% de livraisons assurées. Ce cas de figure apparaît car nous n'avons pas prévu de récupération des chariots indépendamment des tournées de livraison.

Nous constatons que dans le cas de l'utilisation de 2 tracteurs, 14 chariots suffisent et dans le cas de 3 tracteurs disponibles, 13 chariots semblent suffire. Etant donné la valeur d'éléments en jeu, nous pouvons hiérarchiser les solutions viables :

- 1 : 2 tracteurs et 14 chariots,
- 2 : 3 tracteurs et 13 chariots.

Les résultats obtenus avec le modèle de simulation permettent d'évaluer différents scénarii identifiés lors de la définition des objectifs de l'étude. Nous avons ainsi pu déterminer que la solution permettant l'amélioration du taux d'occupation des agents de manière significative était la dernière hypothèse (RFID). Par contre, nous avons aussi montré que l'organisation avec les anciens bâtiments donnait de bons résultats mais le suivi des livraisons n'est pas assuré. Nous pouvons aussi noter un point important les unités chirurgicales sont situées dans le bâtiment E. Ces unités ayant des contraintes importantes, le délai d'approvisionnement est tout aussi important. Par conséquent, les deux solutions (RFID et Nouv Bat - Nouv Org) donnent des résultats intéressants.

8 CONCLUSIONS

A partir de notre modèle ARIS, il nous a été possible de générer grâce à nos scripts un squelette de modèle de simulation. Ce squelette comprend les patterns et les règles qui découlent directement du modèle, l'attribution des ressources identifiées dans les CPe, l'affectation des temps de traitement grâce aux attributs de simulation des fonctions, et ce en générant différents fichiers pour le simulateur RAO.

Cependant, notre transformation n'est pas totale, nous ne prenons pas en compte un certain nombre d'éléments qui permettraient de créer un modèle d'action directement exploitable/exécutable. Ces éléments sont les suivants :

- le planning des ressources,
- les événements irréguliers (événements qui ne se produisent qu'aléatoirement),
- le paramétrage du modèle d'action,
- les connecteurs logiques (« ou » inclusif et « ou » exclusif).

Le squelette obtenu nécessite encore une intervention humaine afin de compléter le modèle d'action issu d'un modèle ARIS. Il est à noter qu'à l'heure actuelle nous ne considérons pas les modèles de type CPe dans

lesquels nous trouvons les connecteurs logiques « ou ». L'étape suivante sera l'intégration des différents éléments manquants afin d'obtenir une automatisation plus complète.

En ce qui concerne les résultats obtenus avec notre modèle de simulation, nous avons pu évaluer l'impact de la mise en place d'une nouvelle structure à l'hôpital et également les améliorations que provoque l'utilisation de nouvelle technologie. Nous avons transmis ces résultats aux responsables de l'hôpital Brugmann qui évaluent maintenant financièrement les différentes solutions proposées.

REFERENCES

- Artiba, A., V. V. Emelyanov, S. I. Iassinovski, 1998, *Introduction to Intelligent Simulation: The RAO Language*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Barbier F., 2006, *Développement coordonné UML 2/Entreprise Java Beans*, Secondes journées sur l'ingénierie des modèles.
- Blanc X., T. Ziadi and C. Besse, 2006 LIP 6, Paris, *Génération de code pour les systèmes à partir de modèle UML 2*, Secondes journées sur l'ingénierie des modèles.
- Chabrol M., D. Sarramia and N. Tchernev, 2006a, *Urban Traffic Systems Information System Modelling Methodology*, IJPE, International Journal of Production Economics (Elsevier), Volume 99, Issues 1-2, January-February Pages 156-176, Control and Management of Productive Systems.
- Chabrol M., J. Chauvet and P. Fénies, 2006b, *Un usage multiple du modèle de connaissance unique des processus organisationnels d'une Supply Chain Hospitalière : Application pour le Nouvel Hôpital d'Estaing*, Conférence (GISEH'06), 14-16 Luxembourg
- Combemale B., S. Rougemaille, X. Crégut, F. Migeon, M. Pantel and C. Maurel, 2006, *Expériences pour décrire la sémantique en ingénierie des modèles*, Secondes journées sur l'ingénierie des modèles (IDM'06).
- Di Martinelly C., J. Rappold, F. Riane, F. Bonvoisin and A. Guinet, 2007, *Etude de la mise en place d'armoires automatiques de distribution des médicaments dans un service d'urgence*, 7e Congrès international de génie industriel – 5-8 juin – Trois-Rivières, Québec (CANADA)
- Franck Fleurey F., 2006, *Langage et méthode pour une ingénierie des modèles fiables*, thèse soutenue à l'Université de Rennes 1.
- Jezequel J-M., 2005, *A MDA approach to model and implement transformations*, In Jean Bezvin and Reiko Heckel, editors, *Language Engineering for Model-Driven Software Development*, number 04101 in Dagstuhl Seminar Proceedings. Internationales Begegnungs- und Forschungszentrum fuer Informatik (IBFI), Schloss Dagstuhl, Germany. –

<<http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2005/20>>

Gourgand M. and Kellert P., 1991, *Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production*, 3^{ème} congrès international de Génie industriel (GI'91), Tours.

Mukerji J. and Mille J., *MDA Guide Version 1.0.1*, Overview and guide to OMG's architecture, http://www.omg.org/cgi-bin/doc?omg/03-06-01_2001, 2003.

Savaton G. and Delatour J., 2006, *Motif pour la méta-modélisation*, Secondes journées sur l'ingénierie des modèles (IDM'06).