Contribution à la modélisation et l'analyse du risque dans une organisation de santé au moyen d'une approche système

Saber Aloui

ED n°432 : Sciences et métiers de l'ingénieur

N° attribué par la bibliothèque
|__|__|__|__|__|__|__|__|__|__|

T H E S E

pour obtenir le grade de
Docteur de l'Ecole des Mines de Paris
Spécialité "Science et Génie des Activités à Risques"

présentée et soutenue publiquement par
Saber ALOUI

le 7 novembre 2007

Contribution à la modélisation et l'analyse du risque dans une organisation de santé au moyen d'une approche système

Directeur de thèse : Jean-Michel PENALVA

Jury

M. Franck GUARNIERI	Professeur, ENSMP, Sophia-Antipolis	Président
M. Alain GUINET	Professeur, INSA, Lyon	Rapporteur
M. Xiaolan. XIE	Professeur, ENSMSE, Saint-Étienne	Rapporteur
M. Jean François QUARANTA	Professeur, Université et CHU de Nice	Examinateur
M. Rémy COLLOMP	Docteur en Pharmacie, CHU de Nice	Examinateur
M. Christian BRAESCH	MdC, Université de Savoie, Annecy	Examinateur
M. Vincent CHAPURLAT	MdC, HdR, EMA, Nîmes	Maître de thèse
M. Jean Michel PENALVA	Expert CEA, Directeur LGI2P, Nîmes	Directeur de thèse

On a beau travailler, réfléchir, ranger, balayer ...
Il reste toujours un peu de poussière sous le tapis.

Françoise Armand

Remerciements

Ces travaux de recherche ont été réalisés au sein du Laboratoire de Génie Informatique et Ingénierie de Production (LGI2P) de l'Ecole des Mines d'Alès (EMA). Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse et notamment, M. Yannick VIMONT, Directeur de la Recherche de l'EMA.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Monsieur Jean-Michel PENALVA, Directeur du LGI2P et de cette thèse. Je tiens à lui faire part de mes remerciements les plus sincères pour la confiance et le soutien apporté qui ont permis l'aboutissement de ce travail.

Plus particulièrement, ma reconnaissance et mon respect vont à mon encadrant, Monsieur Vincent CHAPURLAT, Maître Assistant à l'Ecole des Mines d'Alès et tout récemment *HdRisé* qui a initié et suivi ce travail de recherche. Un grand merci pour ses critiques, parfois dures, mais toujours très constructives tout au long du déroulement de la thèse et au moment de sa rédaction. Je le remercie de son enseignement et de m'avoir transmis son perfectionnisme et sa remise en question permanente.

Je tiens à remercier Monsieur Alain GUINET, Professeur à l'INSA de Lyon, et Monsieur Xiaolan XIE, Professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Étienne, pour avoir accepté d'étudier mes travaux et de les évalué en leur qualité de rapporteurs. Je remercie également Monsieur Jean-François QUARANTA, Professeur à l'Université de Nice et gestionnaire du risque au CHU de Nice, Monsieur Franck GUARNIERI, Directeur du Pôle Cindynique de l'Ecole des Mines de Paris et Monsieur Christian BRAESCH, Maître de conférences à l'Université de Savoie pour avoir accepté de s'impliquer dans cette thèse en tant que membres du jury.

Un grand merci à Rémy COLLOMP, praticien hospitalier au CHU de Nice, responsable du secteur dispensation aux patients hospitalisés et mon "binôme" à l'école doctorale ainsi qu'à toute son équipe notamment Stéphanie LUCAS, Marie-Clotilde GAZIELLO, Nicolas AKNOUCHE et Denis DESTEFANIS. J'exprime également ma reconnaissance à l'équipe du CH de Millau et notamment à Monsieur Jean-Luc MARCHAND.

Je n'oublie pas toutes les personnes du LGI2P qui, par leurs échanges constructifs ou simplement par leur présence ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Je pense particulièrement à Sylvie CRUVELIER, Annie LIOTHIN, Jacky MONTMAIN, et Pascal PONCELET. Des remerciements spéciaux vont au docteur Françoise ARMAND alias *Bib Queen*, Responsable de la bibliothèque et psychanalyste à mi-temps.

Un petit clin d'œil à mes collègues thésards et aux membres de l'association ATHEMA. Leur bonne humeur a fait passer ces dernières années bien vite! Je pense notamment aux anciens : Afef et Imane mes supers collègues de bureau, *mon* Désiré, Olivier, Eric, Rachid et les nouveaux : Kamel, Sylvain, Gladys, Wael, Yoann, Sofiane... enfin tous les nîmois…. sans oublier les alésiens : Sandra, Carole, Linda, Romain... Ha oui ! Une pensée spéciale aux internationaux de passage au LGI2P : nos soirées vont me manquer, surtout les désormais célèbres *Hashimoto Night* !

Je remercie de tout cœur mes proches pour la confiance, le soutien et l'aide qu'ils m'ont apporté durant toute la durée de cette thèse. Spécialement mes parents Mohamed et Zohra pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis durant ces (longues) années d'études, mes frères : Ouissem, Ziad et Lamjed et ma sœur Samiha que j'adore et dont je suis très fier.

Enfin, je remercie tendrement Anissa, ma meilleure amie, mon épouse qui me supporte depuis toutes ces années et avec laquelle tout parait plus facile.

Table des matières

LISTE DES ILLUSTRATIONS

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE DU RISQUE EN MILIEU HOSPITALIER

CHAPITRE II : ETAT DE L'ART

CHAPITRE III : APPROCHE POUR LA MAITRISE OPERATIONNELLE DU RISQUE

CHAPITRE IV : APPLICATION

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE DU RISQUE EN MILIEU HOSPITALIER

CHAPITRE II : ETAT DE L'ART

CHAPITRE III : APPROCHE POUR LA MAITRISE OPERATIONNELLE DU RISQUE

CHAPITRE IV : APPLICATION

Introduction générale

Tout acteur en charge de la spécification, de la conception, de la réalisation ou du pilotage d'un système se pose immanquablement la question de la *maîtrise du risque*. Cette question est d'autant plus cruciale et difficile à appréhender que le système est complexe. Plusieurs approches du risque ont été validées dans le monde industriel. Néanmoins, ces approches sont difficiles à mettre en œuvre dans d'autres contextes ; c'est le cas pour une organisation de santé.

Le travail présenté dans ce document tente d'adapter une méthode fondée sur une nouvelle vision du risque pour une organisation de santé.

Cette thèse s'inscrit dans la suite des recherches menées au Laboratoire de Génie Informatique et d'Ingénierie de Production (LGI2P). Elles portent, d'une part, sur la modélisation de systèmes complexes techniques et organisationnels, en particulier les entreprises [PENALVA, 1997 ; CHAPURLAT *et al.*, 2003] et, d'autre part, sur la mise en œuvre d'approches permettant de raisonner sur des modèles à des fins de vérification, de validation et, à terme, de certification [LAMINE, 2001 ; KAMSU-FOGUEM, 2004 ; ADDOUCHE, 2006 ; CHAPURLAT, 2007].

Ces deux axes de recherche ont permis de définir des concepts qui, une fois formalisés, intégrés et validés au cours de ce travail, ont été appliqués au domaine de l'analyse et de la prévention du risque [CHAPURLAT *et al.*, 2005 ; MONTMAIN et PENALVA, 2007] au sein d'une organisation de santé.

Ce document s'organise comme suit :

Le chapitre 1, présente le contexte et la genèse du travail de recherche et introduit la problématique liée à la gestion du risque dans le système sociotechnique complexe qu'est une organisation de santé.

Le chapitre 2 expose un bilan des travaux dans différents domaines complémentaires, tel que l'Ingénierie Système, la Modélisation d'Entreprise, la Vérification de Modèles et l'Analyse du Risque. Différentes questions sont ainsi soulevées et discutées, avant de présenter et d'argumenter la démarche proposée.

Le chapitre 3 vise à conceptualiser, formaliser et instrumenter une approche d'aide à la maîtrise des risques dans une organisation de santé. Pour cela, il est nécessaire de s'appuyer, d'une part, sur un cadre conceptuel permettant de représenter explicitement un système sociotechnique complexe, d'autre part, de disposer de mécanismes de raisonnement permettant de statuer sur l'occurrence de risques potentiels et sur leurs effets au sein de l'organisation.

La méthode proposée s'appuie sur trois éléments fondamentaux [MEINADIER, 1998] :

- des concepts d'appréhension du système (principes théoriques et langages de modélisation à différents niveaux d'abstraction),
- une démarche (un mode opératoire) qui permet d'expliciter la manière de mettre en œuvre ces concepts,
- des outils de mise en œuvre supportant cette démarche.

Enfin le chapitre 4 traite d'un cas d'application, le système Circuit du Médicament au sein de deux organisations de santé : le Centre Hospitalier Universitaire de Nice et le Centre Hospitalier intercommunal du Sud-Aveyron.

Chapitre I : Problématique du risque en milieu hospitalier

1 Contexte : le système de santé

Depuis 1991 le monde de la santé est en réforme permanente. Une prise de conscience des pouvoirs publics, des professionnels de santé et du grand public s'est faite sur la réalité des risques encourus par les patients à l'hôpital. Aussi, en quinze ans, la réglementation sur la sécurité sanitaire s'est beaucoup enrichie. Citons notamment la loi hospitalière de 1991 [LOI 91-748, 1991] qui impose d'évaluer les soins et de répartir les pouvoirs à l'hôpital. Les ordonnances de 1996 [ORDONNANCES JUPPE, 1996] introduisent le principe d'accréditation des Centres Hospitaliers (CH) et la création des Agences Régionales de l'Hospitalisation (ARH). La loi de sécurité sanitaire de 1998 [LOI N° 98-535, 1998] a créé les agences de sécurité sanitaire. La loi « *Kouchner* » de 2002 [LOI N°2002-303, 2002] met l'accent sur les droits des patients et sur l'indemnisation de l'aléa et place ainsi le *client* au centre des préoccupations des professionnels. Enfin, la loi d'août 2004 [LOI N° 2004-806, 2004] impose le signalement des événements graves ainsi que l'évaluation des pratiques médicales et tend vers l'accréditation des médecins. Le fonctionnement même des CH, ordinairement basé sur des services de soins indépendants, évolue vers un fonctionnement par pôles d'activités conformément au plan Hôpital 2007 [MINISTERE DE LA SANTE, 2003]. Le système de financement des CH a également évolué, passant de la dotation globale à la Tarification à l'Activité (T2A). Depuis 2005, ce changement du mode de financement impacte le fonctionnement de ces unités de soins et sous-entend une nécessaire maîtrise des activités et de la performance.

Les établissements de santé sont ainsi incités à remettre en cause leurs pratiques, en modifiant leur organisation afin de garantir la qualité des services au patient tout en maîtrisant les coûts et en optimisant l'utilisation des ressources. Cependant, l'évolution des pratiques professionnelles et de l'organisation n'ont pas suivi au même rythme, et l'écart entre réglementation et pratiques professionnelles s'est creusé.

2 L'hôpital : un système sociotechnique complexe

Avant d'approfondir la description du contexte et de la problématique de ce travail de recherche, il est nécessaire de préciser un certain nombre d'idées et de concepts.

La définition usuelle de ***système*** [PENALVA, 1997] est *un ensemble de moyens organisés tendant à une même fin.* Pour être plus précis, [BREAS, 1993] définit un système comme *une unité globale organisée d'éléments en interaction, fonctionnant et évoluant en fonction d'une finalité, plongée dans un environnement qui agit sur elle et sur lequel elle agit*. Cette définition est fondée sur l'archétype proposé par [LE MOIGNE, 1977] : *le Système Général qui se décrit par une ACTION (un enchevêtrement d'Actions) DANS un environnement ("tapissé" de processus) POUR quelques projets (Finalité, Téléologie) FONCTIONNANT (faisant) ET SE TRANSFORMANT (devenant).*

Un système peut aussi se présenter sous la forme d'un ensemble structuré d'éléments abstraits, c'est-à-dire une construction théorique que forme l'intellect sur un sujet donné. Ainsi, le système est qualifié par l'observateur qui lui attribue des propriétés. En se basant sur [PENALVA, 1997], est considérée comme ***complexe*** *toute situation qui présente pour un observateur des difficultés de compréhension, d'anticipation ou de maîtrise*. Les systèmes naturels (le cerveau, le système immunitaire ou un système écologique) et les systèmes artificiels (Internet, une entreprise ou une installation industrielle) sont considérés comme complexes [FAISANDIER, 2005]. Or la complexité n'est pas une caractéristique intrinsèque du système [PENALVA, 2004]. En effet, la complexité est attribuée par l'observateur au système. Selon les intentions de l'observateur, le système peut alors être [ASHBY, 1958 ; DE ROSNAY, 1975 ; MORIN, 1977]:

- un système autonome dans un environnement,
- un sous-système comme partie intégrée dans un système,
- un supra-système dominant d'autres systèmes sans les englober,
- un écosystème englobant un système et devenant son environnement,
- un méta-système englobant des systèmes quels qu'ils soient en leur donnant un sens.

Les systèmes complexes sont caractérisés par un comportement émergent, c'est-à-dire nouveau car *a priori* imprédictible. En effet, on ne peut ou on ne souhaite pas décrire tous les comportements possibles d'un tel système pour des raisons de compréhension, de temps nécessaire ou de connaissances insuffisantes sur ses composants, sa structure, etc. Cela est dû aux interactions entre les divers constituants du système, éventuellement nombreux et eux-mêmes complexes, vus à différents niveaux d'organisation [SHEARD, 2006] (Figure 1). Cette émergence de comportement permet de distinguer deux principaux types de complexité [MEINADIER, 1998] :

- La *complexité statique* est liée à l'architecture du système, à savoir, le nombre de fonctions, de composantes, de relations existantes.
- La *complexité dynamique* est liée à la dynamique des interactions entre les sous-systèmes et les composants.

Si l'on se replace dans le cadre de ce travail de recherche, l'hôpital est un système de soin dont chacun des composants de son organisation (système de prise en charge du patient, services impliqués dans le circuit du médicament, etc.) sont considérés comme des systèmes complexes.

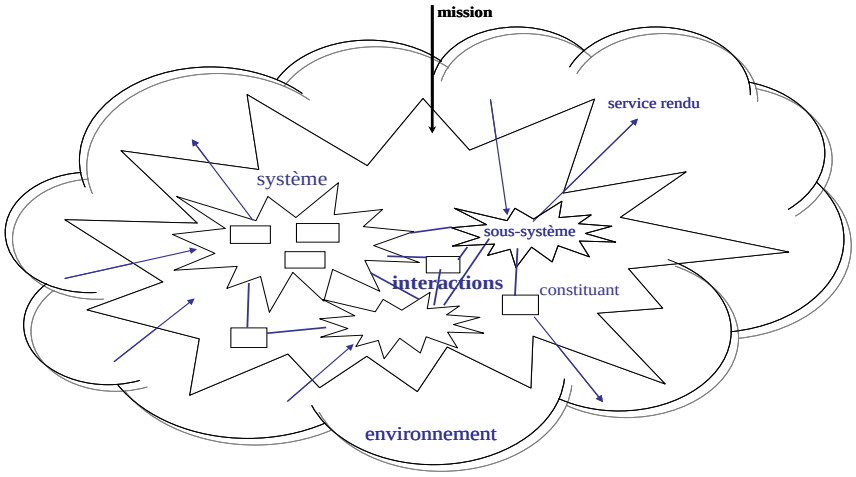


Figure 1. Schématisation d'un système complexe [MEINADIER, 1998]

Le travail de recherche présenté dans ce manuscrit s'intéresse à un type de système que l'on qualifiera de Système Sociotechnique Complexe (SSC) où le rôle de l'Homme, vu comme l'un des composants du système global, devient prépondérant. La suite retiendra ainsi la définition proposée par [MEINADIER, 1998] pour un SSC : « *un ensemble composite de personnels, de matériels et de logiciels organisés pour que leur inter-fonctionnement permette, dans un environnement donné, de remplir les missions pour lesquelles il a été conçu* . Une entreprise est un exemple de ce type de système. Elle est définie par le groupe « modélisation d'entreprise » du GDR MACS comme « *tout système socio-économique donné visant la production de biens ou de services pour satisfaire un marché (sa mission) en utilisant au mieux ses moyens (financiers, techniques et humains)* ». L'entreprise peut alors être caractérisée de la façon suivante [BLANC DIT JOLICOEUR, 2004] :

- quelque chose : ENTREPRISE,
- qui dans quelque chose : ENSEMBLE DE MARCHES,
- pour quelque chose : CROITRE ET SURVIVRE,
- fait quelque chose : PRODUIRE,
- par quelque chose : ENSEMBLE DE MOYENS,
- et qui se transforme dans le temps.

En se replaçant dans le contexte de l'hôpital, [DUCQ *et al.*, 2005] considère ainsi qu'un centre hospitalier est une entreprise de service particulière or une de ces particularités est le client qu'elle doit satisfaire : le ***patient***. Selon [ISO 9000, 2000], un client est un organisme ou une personne qui reçoit un bien ou un service. En l'occurrence, en milieu médical, le client va être en même temps l'objet et le bénéficiaire d'un service fourni par de nombreux professionnels qui affectant directement son état physique et/ou mental. En effet, dès sa prise en charge et jusqu'à sa sortie, de nombreux métiers vont s'organiser et interagir pour accomplir la mission de l'hôpital. Celle-ci est d'assurer la sécurité du patient et la qualité des soins liés à tout acte médical. Ces actions et interactions entre patient et professionnels interagissant avec d'autres professionnels vont du traitement administratif du patient lors de son entrée à l'hôpital (constitution de son dossier), à la radiologie en passant par la pharmacie ou bien encore la chirurgie. C'est dans cette synergie que s'affirme le caractère ***sociotechnique*** du système de santé.

3 Besoin de maîtrise face au risque

3.1 Le risque

De manière générale le risque est une notion difficile à définir et à appréhender. Selon [BERNSTEIN, 1998 ; HANSSENS, 2003] la notion de risque est liée à la perception humaine d'un phénomène qui dépasse la compréhension. L'attitude sociale face au risque est passée du fatalisme [KERVERN, 1995] à l'exigence de protection [BECK, 2001]. Dans la littérature qui traite de ce domaine, plusieurs définitions sont proposées, chacune dépendant de l'angle sous lequel le risque est perçu. Une définition usuelle du risque est « *l'exposition (d'une personne ou d'un bien) à un danger potentiel, inhérent à une situation ou à une activité* ». De manière plus formelle les normes ISO (CEI) [ISO/CEI 73, 2002] définissent le risque comme une «*combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences*». [ISO/CEI 51, 2002] définit le risque comme la «*combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité*». Il est donc présenté comme calculable selon une approche statistique. Un risque est ainsi la probabilité de subir un événement pouvant causer des dommages combinée à la gravité que peuvent entraîner ces dommages. Il est représenté dans un espace à deux dimensions (Figure 2) :

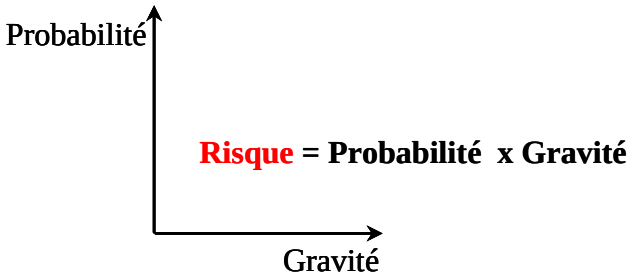


Figure 2. Le risque

Où :

- la gravité correspond à l'impact estimé sur le système (dommages),
- la probabilité de l'évènement est estimée dans une fourchette de temps donnée.

Néanmoins, selon [BJELKE, 2004], cette formule n'est valide que lorsque :

- les compétences des acteurs du système n'entrent pas en compte dans les résultats,
- la probabilité est calculée sur un large nombre d'observations validées sur le terrain,
- l'environnement est stable voire sous contrôle.

Or, dans les systèmes qui nous intéressent les acteurs ont des compétences différentes, des expériences plus ou moins pointues suivant l'activité à réaliser. De plus l'environnement échappe largement à tout contrôle, un certain nombre d'imprévus n'étant absolument pas maîtrisables (les phénomènes naturels par exemple).

En s'appuyant sur cette définition classique du risque, le réduire peut alors s'opérer de deux manières :

- réduire la probabilité de survenue d'un événement non souhaité,
- limiter les conséquences (l'impact) en cas de survenue de cet événement.

Comme indiqué précédemment, la définition du risque est liée au point de vue de l'observateur, la perception du risque est donc extrêmement diversifiée. Néanmoins, certains auteurs tentent de

généraliser cette définition. Par exemple, [KERVERN, 1995] définit le risque comme « *un événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'engendrer des dommages significatifs sur un programme* » entraînant la baisse des performances du système ou l'augmentation des coûts de maintien en conditions opérationnelles.

Ce travail de recherche se basera sur des définitions d'ordre général du risque, ces définitions seront traduites sous la forme de métas modèles qui sont issus de divers cadres conceptuels [KERVERN, 1995 ; PERILHON, 2003 ; SUNDSTRÖM et HOLLNAGEL, 2006 ; MONTMAIN *et al.*, 2007] et sont présentés en Annexes A et B. Ils seront plus amplement explicités dans le chapitre II.

3.2 Une organisation sociotechnique confrontée aux risques

Chaque entreprise tente de mieux comprendre et d'anticiper le risque, quel qu'en soient les effets (financiers, humains, sociaux, ou autres) pour le minimiser et le maîtriser. Selon [PERILHON, 2003] la maîtrise des risques dans l'entreprise vise plusieurs objectifs et devient ainsi un moyen :

- d'accroître la *confiance* des différents acteurs (le public, le personnel, les investisseurs) et de conserver une bonne image en facilitant la *communication*;
- de répondre aux multiples *contraintes réglementai*res (code du travail, installations classées pour la protection de l'environnement, circulaire Seveso et assurances);
- indispensable pour la *construction des plans d'interve*ntions (en interne : au sein de l'entreprise et en externe : au niveau de la commune ou de la préfecture pour une meilleure coordination).

Cette pratique revêt plusieurs formes. Cela est lié à l'importante variété de risques à traiter (risques humains, matériels ou financiers). Elle peut aller de l'identification à la hiérarchisation des risques, en amont ou en aval d'une anomalie (catastrophe, incident), jusqu'au transfert des risques résiduels vers l'assurance, la planification d'urgence ou la gestion de crise. Lorsque le risque n'est pas avéré mais lié à la validité des informations dont on dispose sur une situation incertaine, il est souvent appréhendé par le biais de «*l'assurance contre le risque* ». Cette incertitude liée au manque d'informations fiables, correspond à l'une des premières définitions donnée au risque dans les entreprises : « *l'incertitude d'une occurrence d'évènements qui pourraient avoir un impact sur l'accomplissement de ses objectifs* » [BJELKE, 2004]. Ainsi la vision traditionnelle du risque en entreprise est constituée par tout évènement susceptible de faire perdre de l'argent.

Pour résumer, [HANSSENS, 2003] présente une définition du risque qui tourne autour des 3 axes suivants :

- la notion de perte;
- la notion d'incertitude;
- et celle de déviation par rapport aux objectifs.

Mais, ces trois axes ne traitent que de l'aspect néfaste du risque et ne prennent pas en compte la notion d'opportunité et de choix [DAFEL et JACKSON, 2000]. En effet, prendre des risques peut améliorer la performance attendu d'un système. Le risque peut alors devenir un moyen de piloter l'entreprise. Les travaux de [DAFEL *et al.*, 2000] mettent en évidence quatre concepts de « *perception des risques au sein des entreprises* ». Le Tableau 1 les représente.

Types de risques	Objectifs poursuivis
Le risque perçu comme une opportunité. Un moyen d'améliorer ses performances.	Il y a une relation entre le risque et les effets potentiels. Plus le risque est élevé plus le retour potentiel est élevé mais également plus la perte potentielle peut être grande. Dans ce contexte, le management vise à maximiser les avantages et minimiser les inconvénients.
Le risque identifié comme un danger, événement négatif, entraînant un dommage (perte financière, fraude, mauvaise image)	Le management du risque inclut la mise en œuvre de processus (comprenant une couverture assurantielle) pour réduire la probabilité de survenue d'un événement non souhaité et sans engager de coûts trop élevés pouvant paralyser l'organisation.
Le risque vu comme une incertitude. Ceci se rapporte à la distribution de tous les résultats possibles, positifs et négatifs	Dans ce contexte, la gestion des risques veut dire réduire la variabilité des résultats prévus.
Le risque considéré comme un choix basé sur le fait que les organisations ne sont pas des victimes du destin [KERVERN, 1995].	Il résulte des décisions que nous prenons. En ce sens, nos choix peuvent avoir comme conséquence des résultats favorables, qui sont une opportunité à saisir ou des résultats défavorables.

Tableau 1. Typologie de gestion en fonction du type de risque rencontré [DAFEL *et al.*, 2000].

Pour résumer, l'entreprise de production de biens ou de services est un système complexe à caractère sociotechnique organisé pour répondre aux attentes de son environnement tout en restant profitable et en cherchant à atteindre des objectifs de réactivité et de qualité de service. Son organisation se cristallise aujourd'hui essentiellement autour de processus mettant en œuvre un ensemble de ressources. Cependant, l'environnement de l'entreprise change et cette dernière doit s'adapter continuellement. De plus, l'entreprise est le siège d'interactions quelquefois imprévues entre les ressources. Tout cela peut induire un certain nombre de situations inattendues, situations dites à risque auxquelles l'entreprise est confrontée. Le pilotage devient alors difficile car il faut maintenir la cohérence et la performance de l'organisation, sans dégrader la profitabilité des activités.

3.3 Les centres hospitaliers et les risques

Un centre hospitalier évolue dans un environnement lui-même complexe Figure 3 . Comme mentionné plus haut, il peut être considéré comme une entreprise de service avec néanmoins ses particularités [DUCQ *et al.*, 2005]. Sa mission est d'assurer la sécurité du patient et la qualité des soins liés à tout acte médical. Cette mission est soumise à des contraintes d'ordre médical, humain, éthique, social, financier, légal ou même politique toujours plus strictes qui entraînent de fait l'évolution de ces structures [HAS, 2004]. Leur organisation s'inspire désormais de plus en plus des approches industrielles recentrées autour de la notion de client. Lors de sa prise en charge, le patient - client, va être confronté à différents professionnels, du secrétariat médical au pompier en passant par la pharmacie ou la chirurgie. Il va transiter au travers de différentes structures, de la partie administrative aux blocs opératoires en passant par la radiologie. Il va enfin être en contact avec d'autres patients avec leurs pathologies propres. Le patient-client interagit donc avec différents types de partenaires. La perception et la compréhension de la trajectoire de ce patient deviennent difficiles à expliciter. Il est donc nécessaire d'aider à cette explicitation et de raisonner sur des représentations du système, c'est-à-dire modéliser et ainsi avoir des modèles pertinents et communicables.

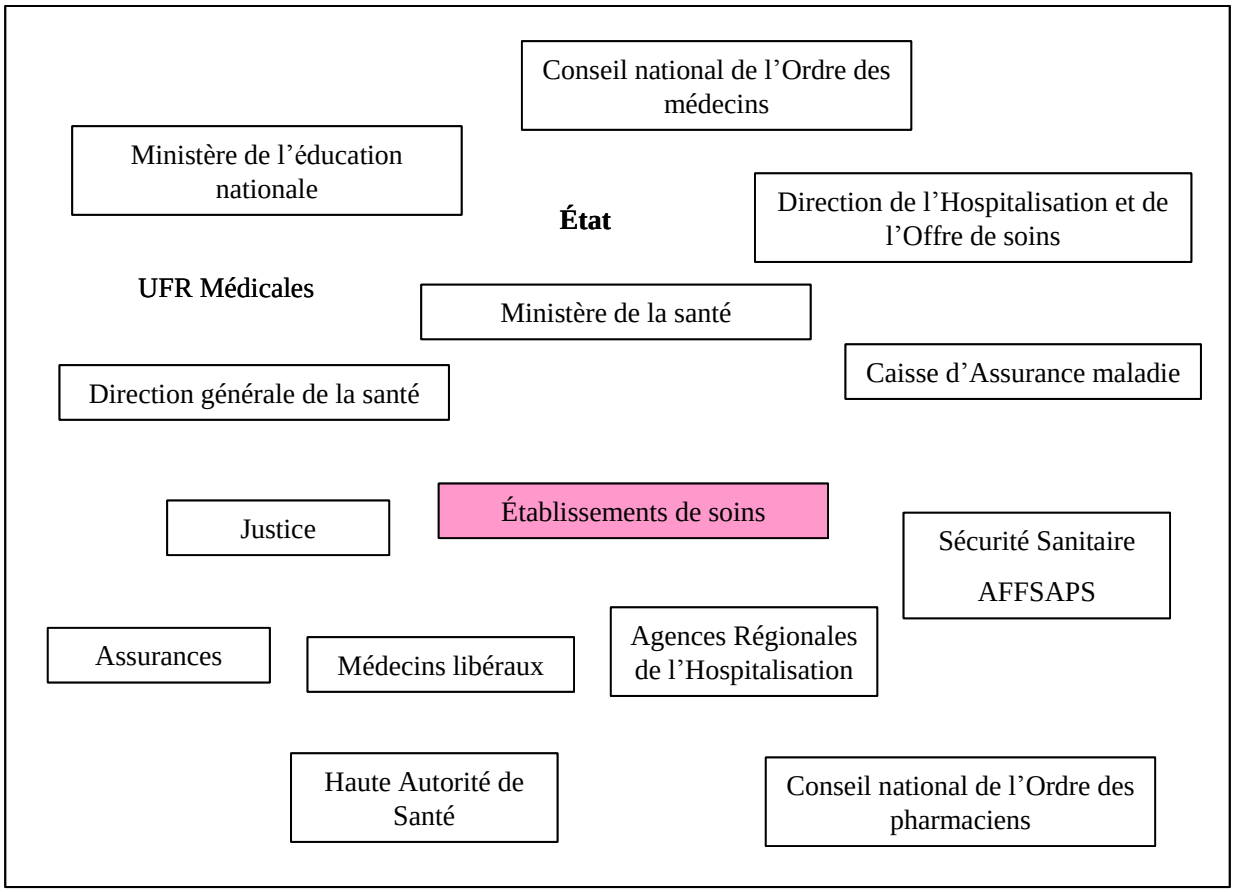


Figure 3. Représentation (non exhaustive) des différents partenaires du monde de la santé [MARTY, 2003].

Dans ce type d'organisation, les patients comme le personnel et l'organisation sont confrontés à des risques techniques (défaillance d'une machine), financiers (dérives de coûts). L'exposition à des dangers de nature bactériologiques, chimique ou nucléaire peut également survenir de risques système, c'est-à-dire dûs aux interactions des différents niveaux d'organisation.

La suite de ce travail porte sur un risque déclaré comme prioritaire par la conférence de la santé en 1996, le risque ***iatrogène,*** définit, selon [LAROUSSE, 2003], comme: « *un trouble, une maladie provoquée par un acte médical ou par les médicaments, même en l'absence d'erreur du médecin* ». Ce risque qui concerne le patient-client d'une organisation de santé, relève également du risque système.

3.4 Le risque perçu dans le milieu médical

3.4.1 La vigilance sanitaire

Le propre de la vigilance sanitaire est de surveiller les incidents et les éventuels effets indésirables liés aux soins. Elle a été instaurée par la loi relative au renforcement de la veille sanitaire et du contrôle de la sécurité sanitaire des produits destinés à l'homme [LOI N° 98-535, 1998]. Elle consiste à recueillir toute information à propos d'un incident (d'un effet indésirable), à analyser l'information relative à cet effet indésirable en la contextualisant (quels patients, quelle pathologie, quels traitements), à traiter l'incident et à le circonscrire. La vigilance sanitaire s'applique à l'ensemble des soins hospitaliers et se décompose comme suit :

- La pharmacovigilance (médicaments),
- L'hémovigilance (produits sanguins labiles),

- La matériovigilance (dispositifs médicaux),
- La réactovigilance (dispositifs médicaux de diagnostic in vitro),
- La toxicovigilance (surveillance des effets toxiques pour l'homme d'un produit, d'une substance ou d'une pollution),
- La biovigilance (organes, tissus, cellules et produits thérapeutiques annexes),
- La cosmétovigilance (produits à finalité cosmétique ou d'hygiène corporelle),
- L'infectiovigilance (risque infectieux).

Les organismes en charge de cette vigilance sont respectivement l'AFSSAPS[1] qui coordonne les vigilances sanitaires et le CCLIN[2] qui est responsable de la surveillance du risque infectieux. La vigilance sanitaire est donc un élément essentiel de la politique de sécurité sanitaire. La vigilance sanitaire est une mission de santé publique, elle revêt donc un aspect stratégique. Néanmoins c'est au niveau opérationnel, c'est-à-dire au niveau des praticiens que tout se joue pour mettre en œuvre cette politique. Ces dernier devant faire face en plus à la gestion quotidienne de leur activité.

3.4.2 L'approche épidémiologique

Dans le milieu médical, le concept de maîtrise du risque s'est développé en suivant une approche épidémiologique où l'attention est portée sur les facteurs déterminants de la maladie. En médecine, la notion de maîtrise des risques s'articule autour des étapes suivantes :

1. Quantifier le nombre de «cas»
2. Cerner les facteurs de risque (analyse épidémiologique)
3. Concevoir et évaluer les interventions
4. Mettre en œuvre le plan d'action et de prévention

Or les centres hospitaliers sont composés de plusieurs services. Chaque service peut avoir son propre système de gestion du risque. Ainsi, plusieurs niveaux d'organisation s'emboîtent pour contribuer à la sécurité globale de l'établissement. Le résultat de ce type de structure est un morcellement de la gestion du risque : chaque acteur appréhende le risque à sa manière. Cela génère une absence de vision globale du risque.

3.4.3 La certification des centres hospitaliers

La norme ISO 8402[3] [ISO 9000, 2000] définit la maîtrise des risques comme un : «*effort pour identifier, évaluer, et réduire, chaque fois que cela est possible, les risques encourus par les patients, les visiteurs et les personnels*». Ainsi, un centre hospitalier doit, pour obtenir l'accréditation délivrée par la HAS, porter une attention particulière aux événements sentinelles qui sont définis dans le manuel d'accréditation HAS comme suit : « *Un événement sentinelle identifie une occurrence défavorable qui sert de signal d'alerte et déclenche systématiquement une investigation et une analyse poussée. Ces événements représentent des extrêmes utilisés en gestion des risques et se prêtent mal à une analyse statistique. Ils sont choisis par chaque secteur d'activité clinique. A titre d'exemple d'événements sentinelles : les décès inattendus, les complications […]* ». Maîtriser le comportement de ce type d'organisation nécessite de savoir la piloter, c'est-à-dire de

[1] l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé est un établissement public français dont la mission principale est d'évaluer les risques sanitaires et nutritionnels présentés par tous les aliments, y compris l'eau, qu'ils soient destinés à l'homme ou à l'animal, dans le but d'alerter les pouvoirs publics en cas de nécessité et plus largement d'informer le public.
[2] Centres de Coordination de la Lutte contre les Infections Nosocomiales.
[3] Définitions et Vocabulaire

contrôler son comportement, d'être apte à l'adapter ou à anticiper certains phénomènes en tenant compte des contraintes et des risques, dans des situations inattendues.

Les réformes évoquées précédemment aboutissent à l'introduction de notions ancrées dans le milieu industriel : assurance qualité, traçabilité, certification, accréditation, classement, compétitivité, concurrence entre les acteurs du système de santé. L'accréditation, et notamment le second manuel [HAS, 2004], impose aux établissements l'entrée dans une démarche d'amélioration continue de la ***qualité*** et de la ***sécurité*** des patients. Dans [JEZEQUEL et RAYMOND, 2002], les auteurs dressent un état des lieux et une méthodologie claire et précise en matière d'organisation et de coordination des vigilances sanitaires au sein des établissements de santé. Le concept de base de cette approche repose sur l'amélioration continue de la maîtrise des risques pour la santé et la sécurité au travail. Il y a des similitudes entre les normes qualité en milieu hospitalier et celles employées dans l'industrie, généralement de source ISO (les normes ISO) [STACCINI *et al.*, 2005]. En effet, nous pouvons faire le comparatif suivant :

La norme ISO implique pour l'entreprise	**L'accréditation HAS implique pour le système de santé**
Une orientation «client»	Qualité des soins délivrés au patient
Une approche «processus» - Dans le milieu industriel la tendance est de représenter l'entreprise par ses processus [CATTAN *et al.*, 2001], [MONGILLON et VERDOUX, 2003]. La norme ISO [ISO 9000, 2000] a défini des processus génériques : le processus de management (ou de pilotage), le processus client (ou métier), le processus support (ou processus de soutien ou processus ressources).	Appréhender le processus de soin du patient
Une amélioration continue	Retour d'expérience, analyse des événements indésirables

Tableau 2. Comparatif entre la norme ISO et accréditation HAS

4 Constats

Un certain nombre de constats peuvent être faits à la suite de l'analyse bibliographique et au travers des échanges et travaux engagés dans le cadre de collaboration avec les professionnels de santé.

4.1 Premier constat : une évolution irréversible des établissements de santé

Cette évolution en cours évoque les adaptations continues que les entreprises industrielles ont dû gérer et anticiper depuis plusieurs années pour faire face à la concurrence dans un environnement économique de plus en plus instable. L'entreprise vise en effet des objectifs de flexibilité, de réactivité, de qualité de service au client et de rentabilité qui, s'ils ne peuvent être directement transposables au domaine de la santé, n'en sont pas pour autant très éloignés. Il est vrai qu'un établissement de santé est un système sociotechnique particulier par l'engagement de résultats cliniques, financiers, sociaux et humains qu'il doit satisfaire, par la typologie, les compétences et la multiplicité des services qu'il doit mettre à disposition, par les procédures de soins qui accompagnent chaque pathologie, et par l'importance du facteur humain. Ainsi, certains principes et outils employés dans l'entreprise industrielle et l'expérience accumulée sur des problèmes assez voisins paraissent non dénués d'intérêt et de pertinence vis-à-vis des besoins d'évolution de ces unités de soins. Les professionnels souhaitent effectivement voir apparaître une nouvelle culture d'organisation dans le domaine de la santé [IGLEHART, 1999 ; EPSTEIN et HUNDERT, 2002 ; LEAPE, 2002]. Cependant, plusieurs travaux [GRANDHAYE et RAKOTONDRANAIVO, 2004 ; DUCQ *et al.*, 2005 ; JEBALI *et al.*, 2006] et notamment ceux du groupe GISEH (Gestion et Ingénierie des SystÈmes Hospitaliers) [GUINET et CHAABANE, 2003 ; AUGUSTO et XIE, 2006 ; GUINET *et al.*, 2006]montrent que la transposition de méthodes et d'organisations issues du monde industriel vers le monde médical nécessite une adaptation profonde.

4.2 Deuxième constat : des risques non maîtrisés

Dans chaque évolution d'un système sociotechnique, il paraît difficile d'envisager toutes les situations nouvelles pouvant alors survenir. Ces situations sont souvent méconnues ou même inattendues car difficilement prévisibles : c'est une caractéristique d'émergence liée à la complexité même de ce type de système. Cela peut entraîner l'apparition de risques et de dommages pouvant impacter le patient et les services concernés (risque économique essentiellement). En effet, quel qu'il soit, un risque mal maîtrisé induit :

- Une perte de ***performance*** en termes de disponibilité de service, de respect des contraintes et de satisfaction du client. Plus précisément, un risque iatrogène peut entraîner le décès ou l'invalidité d'un patient, dégrader les indicateurs de fonctionnement de l'établissement, ou générer un niveau d'insatisfaction préjudiciable à la réputation de l'établissement et à l'image (satisfaction, sûreté, sécurité) qu'il cherche à véhiculer. Dans la littérature, il y a une distinction claire entre la mesure de la performance et son évaluation, [JACOT, 1990] indique que « *la mesure conserve un rôle important mais s'en tient aux effets. L'évaluation est de portée plus générale : on tente de remonter aux causes et on se prononce également sur les objectifs et leurs mise en œuvre* ». L'évaluation enrichit l'information donnée par une simple mesure, et délivre une interprétation par rapport à une vision globale ou cadre de référence. Le cadre de référence est en général issu d'une analyse stratégique de l'entreprise. Il fixe et pondère les différents critères qui constituent la performance globale de l'entreprise. L'évaluation de la performance est utilisée soit pour la conception (ou la réingénierie) d'un nouveau système soit pour son pilotage.

- Une perte de ***stabilité*** dans le temps : l'établissement devient inapte à fournir un service donné dans les conditions requises de qualité, de sûreté et de sécurité. Un mode de fonctionnement dégradé se met alors en place et peut même se pérenniser, situation préjudiciable au fonctionnement normal d'un établissement de santé.
- Une perte ***d'intégrité*** : les ressources de l'établissement peuvent se trouver incapables d'assumer tout ou partie de leur mission à un instant donné, ou l'établissement peut devenir incapable de faire face avec cohérence à une situation d'urgence ou d'exception du fait de certains événements qui n'étaient pas jusqu'ici envisagés.

4.3 Troisième constat : un pilotage imparfait

Toute organisation doit être pilotée, c'est-à-dire que des personnes (managers) doivent être capables de décider et de mettre en œuvre de manière efficiente et à bon escient des ressources, des moyens et des activités pour fournir des services reconnus d'intérêt pour une clientèle exigeante. Le pilotage relève de différents niveaux :

- Orienté **performance** (pilotage tactique), il vise à agir directement sur les ressources opérantes (les acteurs, les services), tout au long du déroulement des processus de soins,
- Orienté **fonctionnement** (supervision), il vise à valider le mode de fonctionnement courant, à agir sur les moyens logistiques, et la coordination des ressources, pour adapter les ressources
- Orienté **stratégie** (management stratégique), il veille à évaluer la situation courante, anticiper l'évolution, et (re)configurer le déroulement des missions.

Le management doit donc disposer d'outils d'aide au pilotage de l'organisation pour pouvoir suivre l'évolution de cette dernière.

5 Besoins

Des constats qui précèdent, deux axes ont été étudiés et intégrés au cours de ce travail de recherche en vue de fournir l'aide attendue à la fois par les managers et les praticiens afin de mieux détecter et analyser des situations à risque en milieu hospitalier. Il s'agit de besoins :

- de représentation à la fois de l'organisation et du comportement d'un système entreprise de type système de santé,
- d'analyse des représentations de ce même système pour faire apparaître de possibles divergences entre les différents acteurs de ce système, de possibles risques pouvant en découler, voire enfin, pour tester de nouvelles organisations permettant d'anticiper et de réduire soit l'occurrence ou l'impact de ces risques.

5.1 Besoins de représentation des SSC

5.1.1 Premier niveau d'abstraction : le système

Le but poursuivi par la systémique est d'apporter une aide conceptuelle et méthodologique au modeleur pour, d'une part, acquérir des connaissances et, d'autre part, conduire son action. Le concept de base de l'approche **systémique** est le **système** (ici au sens de cadre de représentation, modèle de premier niveau). Le système est une représentation d'un objet/projet construite par un observateur et jugée *pertinente* face à une situation perçue complexe. En effet, la situation intègre différentes logiques d'acteurs et différents niveaux d'interactions.

La démarche systémique propose de considérer globalement **la situation** et ses **acteurs** comme un **système** dont les parties ne peuvent être isolée de l'unité à laquelle elles appartiennent et doivent être considérées comme ouvertes sur leur **environnement**.

La construction de la représentation du système est définie comme une procédure de *systémographie*, procédure de conception (construction) de **modèles** de phénomènes perçus complexes (Figure 4). Le modeleur procède par Isomorphie[4] et Homomorphie[5] avec les propriétés de l'archétype de modèle qu'est le Système Général (Figure 5).

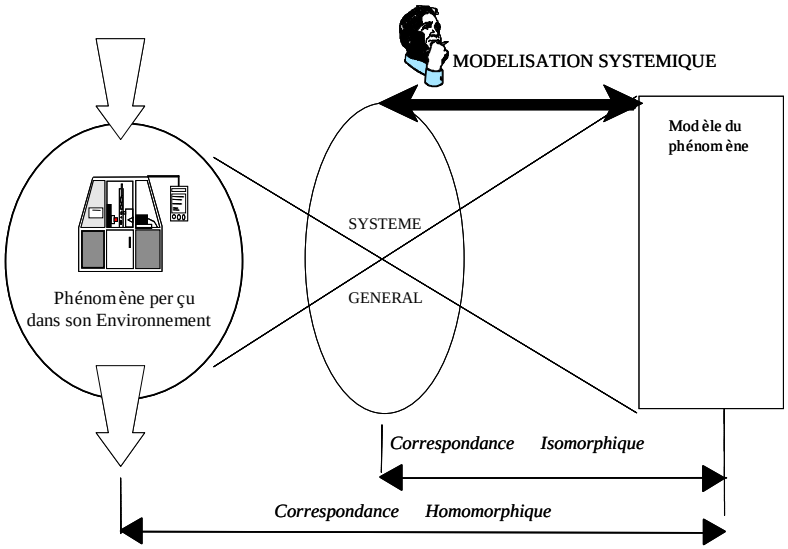


Figure 4. Systémographier un phénomène complexe non identifiable [LE MOIGNE, 1977].

[4] Un Système représentant un objet a exactement la même structure et les mêmes propriétés que le Système Général.
[5] Du Système représentant un objet, nous devons pouvoir faire correspondre à chacun des traits dont il est doté un trait perçu ou anticipé de l'objet considéré (Figure 3).

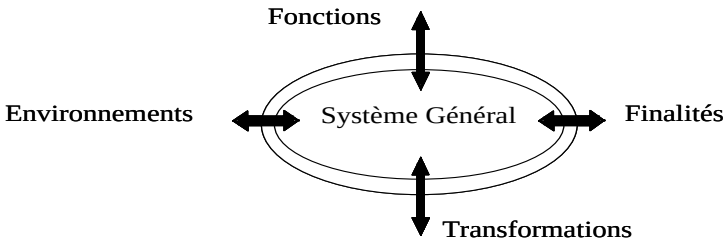


Figure 5. Forme canonique du Système Général

En se fondant sur le paradigme systémique, la démarche systémique vise à organiser les connaissances (Figure 6) en niveaux de modélisation dans le cadre du système considéré dans le but de réduire la complexité, tant pour permettre une ***meilleure compréhension*** que pour conduire une ***analyse*** efficace.

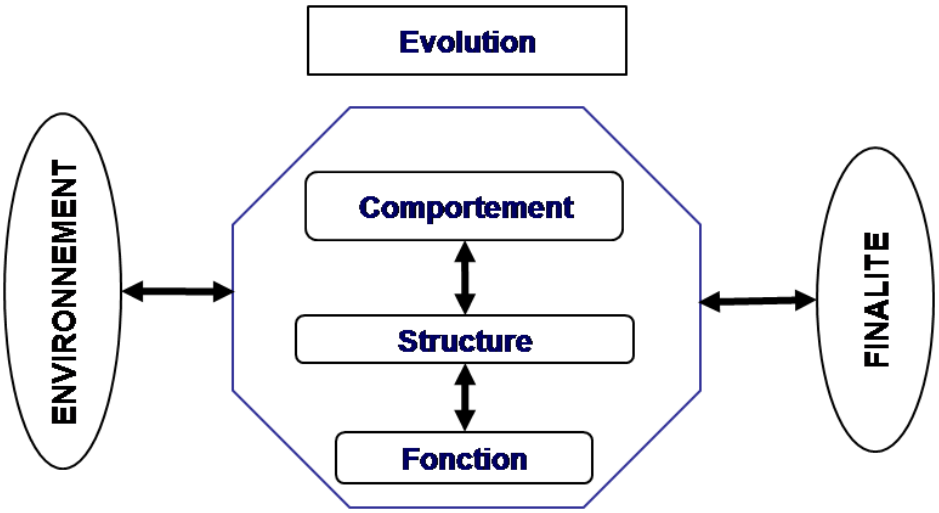


Figure 6. Niveaux de modélisation [LE MOIGNE, 1977]

5.1.2 Second niveau d'abstraction : le modèle

Un modèle est une abstraction d'un système, construit dans une intention particulière. Un modèle doit **pouvoir être utilisé pour répondre à des questions sur le système modélisé** [BEZIVIN et GERBE, 2001]. Comme le définit [NASLIN, 1974] *un modèle d'un phénomène ou d'un processus est essentiellement un mode de représentation tel qu'il permette, d'une part, de rendre compte de toutes les observations faites et, d'autre part, de prévoir le comportement du système considéré dans des conditions plus variées que celles qui ont donné naissance aux observations.* En effet, le modèle est réalisé afin de se comporter de la même manière que le système réel (Figure 7). Il représente alors un support de base pour le raisonnement. La modélisation nécessite de disposer d'un modèle défini par un formalisme, des règles d'écriture (syntaxe), des règles d'évolution (sémantique opérationnelle).

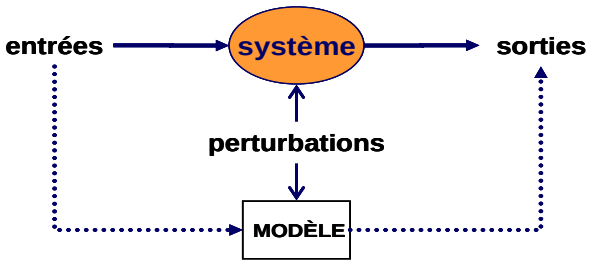


Figure 7. Modèle

Selon l'objectif et l'usage attendu du modèle, le degré de formalisation et de structuration des connaissances, il existe différents types de modèles (Figure 8).

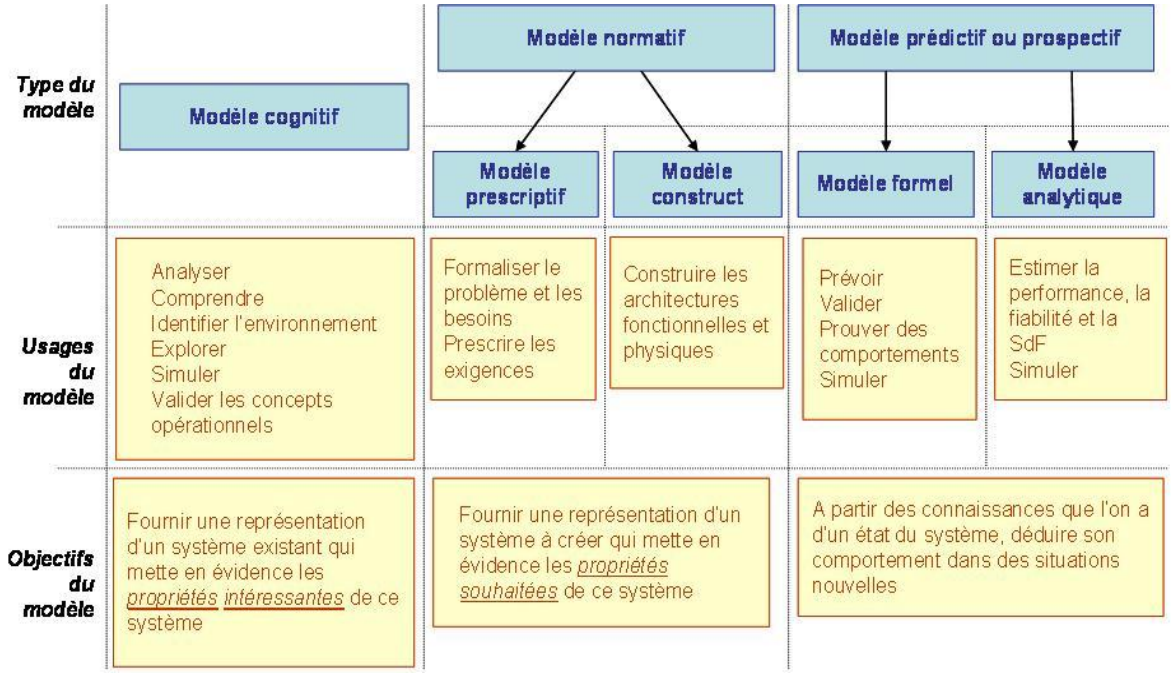


Figure 8. Les différents types de modèles [WALLISER, 1977 ; PENALVA, 1997]

Pour conclure, une situation perçue comme un système complexe ne peut être directement analysé (réduit en éléments plus simples) sans détruire son intelligibilité. En effet, la complexité induit une représentation non exhaustive du système puisqu'une grande partie de ses propriétés échappent au modeleur. Le système se présente alors comme un cadre élaboré pour réduire la complexité, et permettre la construction de modèles. En ce qui concerne ce travail de recherche le modèle qui sera utilisé est un modèle de type prospectif.

5.1.3 Conclusions

Un système complexe ne peut être à un instant donné, compris de façon exhaustive [DE ROSNAY, 1975]. En effet, qu'il soit à caractère naturel ou artificiel, un système est composé de constituants hétérogènes en interaction, entre eux et avec l'environnement, ce qui peut générer des comportements imprévisibles. Ces comportements *émergents* peuvent créer des situations dangereuses pour le système. Ce dernier, ainsi que ses constituants se trouvent alors confrontés à différents risques. Selon [VALLESPIR *et al.*, 2003] l'entreprise (le système) est une réalité complexe qu'il est nécessaire de modéliser pour, d'une part rendre intelligible et, d'autre part, autoriser le raisonnement d'un acteur ayant un projet bien défini en son sein. Le projet poursuivi, dans ce qui suit est la maîtrise du risque dans une entreprise particulière : un centre hospitalier.

5.2 Besoins d'analyse des représentations des SSC

5.2.1 Introduction

Selon [AFIS, 2007] : « *les entreprises risquent d'être confrontées à des événements qui peuvent se transformer en crises graves mettant en cause leurs performances, leur image, voire leur survie. Le risque et sa maîtrise sont donc une préoccupation majeure dans les entreprises. Cette maîtrise est d'autant plus difficile que les systèmes techniques, les organisations assurant leur développement, leur production, leur exploitation et leur maintenance ainsi que l'environnement dans lequel ces systèmes opèrent sont eux-mêmes de plus en plus complexes* ». Une approche systémique s'impose donc pour prendre en compte tous les aspects du risque. Or toute exploitation d'un système présente des dangers susceptibles d'avoir des conséquences néfastes pour l'environnement. Aux risques techniques (dûs à la nature des éléments du système) s'ajoutent les « *risques système* » issus des différents niveaux d'interaction et de leur évolution. La maîtrise de ces risques relève d'une approche systémique du fait [AFIS, 2007] :

- « *de scénarios difficilement prédictibles combinant des aléas d'origines diverses (internes ou externes, techniques ou humains),*
- *de dysfonctionnements susceptibles de se produire du fait de la complexité des interactions sur les multiples interfaces tant techniques qu'organisationnelles,*
- *de la difficulté d'estimer les risques tant en termes de fréquence d'événements redoutés qu'en termes de potentialité de gravité,*
- *de la difficulté d'évaluer l'efficacité et la vulnérabilité des barrières de protection et de leur combinaison et notamment d'y détecter les maillons faibles.* »

Ainsi pour maîtriser les risques dans un système, un certain recul s'impose. En effet, intervenir, en apportant des modifications, des ajustements directement sur le système sans un certain niveau de confiance dans les actions à entreprendre présente en soit un certain risque. Par conséquent il est nécessaire de raisonner sur les modèles (prospectifs) du système, pour faire la preuve que les actions à entreprendre vont bien avoir les résultats attendus.

5.2.2 Raisonnement sur les modèles

Raisonner sur les modèles obtenus revient à les analyser. L'analyse est définie par [DEMARCO, 1981] comme *l'étude d'un problème, avant d'entreprendre quelque action.* L'analyse consiste à faire des tests, à mettre en œuvre des raisonnements permettant d'évaluer, de vérifier et de valider un ensemble d'informations paraissant pertinentes au point de vue choisi. [LAMINE, 2001] distingue deux niveaux d'analyse :

1. **L'analyse de la construction du modèle** : il s'agit dans ce niveau d'étudier la qualité du modèle, son exactitude, son intégrité, sa consistance, sa cohérence globale, son adéquation avec les besoins initiaux, etc. Nous désignons ce niveau par l'analyse *a priori* du modèle.
2. **L'analyse d'un système à travers ses modèles associés** : il s'agit dans ce niveau d'étudier le système, à savoir, comprendre et identifier son environnement, évaluer ses performances, vérifier son comportement, estimer la sécurité de fonctionnement, etc. Nous désignons ce niveau par l'analyse *a posteriori* du modèle.

Dans le cadre de la problématique abordée, plusieurs niveaux d'analyse distincts seront donc considérés en tentant de répondre aux questions suivantes :

- ***Ai-je bien construit le modèle ?*** Il s'agit de l'étape de vérification, elle est définie par [AIAA, 1998] comme « *Process of determining that a model implementation and its associated data accurately represent the developer's conceptual description and specifications* » et permet de relever un certain nombre d'erreurs de modélisation et de répondre à des questions classiques

que les acteurs du processus de modélisation auraient omis. Le but est donc de lever des ambiguïtés de modélisation, de compléter les modèles dans chaque vue, d'améliorer leur qualité et leur richesse.

- ***Ai-je le bon modèle ?*** Il s'agit de l'étape de validation. Elle est définit par [MEINADIER, 1998] comme « *un processus de contrôle consistant à vérifier que le produit résultant d'une activité ou d'un processus est conforme au besoin : on a réalisé le bon produit ou résolu le bon problème* ».
- ***Peut-il m'aider à identifier et à maîtriser les risques encore sous estimés ?*** Il s'agit ici d'une phase de recherche et d'identification des risques systémiques. L'hypothèse retenue est qu'un risque peut se produire lors de l'évolution de certaines propriétés [PENALVA, 1997] du modèle ou lors de l'apparition de certaines propriétés liées à des dissonances ou à des Déficits Systémiques Cindynogènes (DSC) [KERVERN, 1995]. L'objectif de cette étape est donc de mettre en œuvre les mécanismes adéquats de raisonnement et de preuve [CHAPURLAT et ALOUI, 2006] permettant d'évaluer la véracité, c'est-à-dire de vérifier l'ensemble des propriétés attendues au moyen des informations présentes dans les différents modèles associés à chaque point de vue.

6 Conclusions

Comme cela est démontré dans le contexte, la gestion du risque en milieu hospitalier a fortement évoluée (du point de vue réglementaire et des pratiques). Par exemple, des avancées ont été accomplies dans le domaine de la prévention des infections nosocomiales [INVS, 2007]. Cependant, d'autres risques restent encore peu étudiés.

L'objectif est avant tout celui de la qualité et de la sécurité du service rendu au patient, la maîtrise du risque devient alors un enjeu majeur. En même temps, il est aussi celui de la crédibilité : démontrer globalement que l'hôpital ne génère pas ses propres dysfonctionnements (par rapport à d'autres modes de prise en charge des patients) ; et, plus précisément, faire la preuve qu'on sait donner à ses usagers les conditions de sécurité qu'ils sont en droit d'attendre. Cela nécessite de pouvoir rechercher des défauts ou des dysfonctionnements, de trouver des solutions, de mettre en place des systèmes de vigilance plus évolués et plus pertinents et enfin de mieux prendre en compte les compétences des acteurs et des ressources. En effet, différentes études [KOHN *et al.*, 2000], montrent que la maîtrise de la qualité et des risques liés à l'activité de soins ne réside pas dans une remise en cause du travail de tel ou tel individu mais dans une réorganisation des processus. Tous les individus sont susceptibles de faire des erreurs. L'organisation doit être en mesure de les prévenir. Une approche systémique est à mettre en œuvre, un accident ou une erreur n'est généralement pas due à un seul individu mais réside dans la conjugaison de plusieurs facteurs, au nombre desquels on peut citer la qualité de l'organisation, les performances des différentes structures. L'hôpital est donc considéré comme un système sociotechnique complexe qu'il faut modéliser, afin d'avoir dans les modèles obtenus, un support de réflexion et de communication. En effet, la mise à plat des processus, des scénarios, des configurations et des activités permet de prendre du recul et de s'interroger sur les pratiques afin d'identifier les points d'améliorations, et les risques présents au sein de l'organisation, que ces risques soient liés à des non conformités réglementaires, à des risques déjà rencontrés ou à des risques émergents. Ces risques peuvent avoir un effet local (sur le patient) et/ou induire un impact à un niveau plus global, c'est à dire sur la performance de l'établissement.

L'objectif poursuivi durant ce travail est de conceptualiser, formaliser et outiller une méthode d'aide à la maîtrise des risques dans une organisation de santé. Pour cela, il est nécessaire de s'appuyer, d'une part, sur un cadre conceptuel permettant de représenter explicitement un système socio technique complexe, d'autre part, de disposer de mécanismes de raisonnement permettant de statuer sur l'occurrence possible ou potentielle et sur les effets redoutés de risques au sein de cette organisation.

La méthode proposée doit s'appuyer sur trois éléments fondamentaux [MEINADIER, 1998] :

- des concepts d'appréhension du système (principes théoriques et langages de modélisation à différents niveaux d'abstraction),
- une démarche (un mode opératoire) qui permet d'expliciter la manière de mettre en œuvre ces concepts,
- des outils de mise en œuvre supportant cette démarche.

L'approche proposée tend à répondre aux besoins des décideurs et des professionnels de santé comme présenté dans (Baudeau 2004). Elle consiste globalement à :

- Modéliser : Il s'agit tout d'abord d'améliorer la connaissance que les acteurs impliqués ont du système en question, de ses modes opératoires, de son organisation et de ses ressources. Cela suppose une démarche de formalisation rigoureuse s'inspirant de méthodes de modélisation

éprouvées en industrie venant de la modélisation d'entreprise et de la systémique et mettant en avant une approche processus. Il devient alors possible de bâtir une représentation partagée et intelligible par tous les acteurs du secteur d'activité concerné par l'expérimentation.

- Maîtriser : Détecter et mettre en avant des situations dites 'à risque' qui ne sont pas suffisamment ou incomplètement maîtrisées dans l'état actuel de l'organisation. Des principes d'analyse formelle comme cela est le cas dans certaines branches de l'ingénierie des systèmes et d'analyse par simulation sont alors mis en œuvre.

Chapitre II : Etat de l’art

1 Appréhender les Systèmes Complexes : l'Ingénierie Système

Face aux nombreux défis (concurrence, mondialisation, pressions sur le coût, les délais, la qualité) et à la multiplication des contraintes (financières, politiques, environnementales) il est nécessaire de maîtriser la conception des systèmes et des produits complexes. C'est pour répondre à cette nécessité de compréhension et de maîtrise des systèmes complexes que l'Ingénierie Système a été développée.

1.1 L'Ingénierie Système (IS)

D'après [IEEE, 1994] « *L'ingénierie système est une approche coopérative et interdisciplinaire pour le développement progressif et la vérification d'une solution pour le système, équilibrée sur l'ensemble de son cycle de vie, satisfaisant aux attentes d'un client et acceptable par tous* ». Selon [MEINADIER, 1998] l'ingénierie système est un processus **collaboratif** et **interdisciplinaire** de résolution de problèmes s'appuyant sur les *connaissances*, *méthodes* et *techniques* issues des sciences et de l'expérience mise en œuvre pour définir un système qui satisfasse un besoin identifié. Nous pouvons aussi définir l'ingénierie système comme une démarche s'appuyant sur des bases conceptuelles et techniques hétérogènes et qui bien exploitées concourent à la résolution de problèmes. Elle est notamment déployée pour :

- concevoir, faire évoluer et vérifier un système (ensemble organisé de matériels, logiciels, compétences humaines et processus en interaction), apportant une solution à un besoin opérationnel identifié conformément à des critères d'efficacité mesurables [BENABEN, 2001],
- satisfaire aux attentes (qualité, innovation, rendement) et contraintes (délais, coût, performance, sûreté de fonctionnement) de l'ensemble de ses parties prenantes et être acceptable pour l'environnement,
- équilibrer et optimiser, sous tous les aspects, l'économie globale de la solution sur l'ensemble du cycle de vie du système.

En ce qui concerne ce travail de recherche, l'IS sera utilisée comme méthode de modélisation (à différents niveaux d'abstraction) et d'analyse de système confrontés aux risques. Or peu de méthodes d'ingénierie de systèmes sociotechniques fournissent de véritables outils de modélisation au niveau système, la plupart s'adressent à des systèmes technologiques. Dans [MEINADIER, 1998], deux types d'approches sont présentées, les fonctionnelles et les systémiques. Dans ce qui suit, la méthode systémique SAGACE sera plus amplement détaillée.

1.2 SAGACE

1.2.1 Objectifs

SAGACE est à l'origine conçue pour répondre aux besoins de supervision des systèmes complexes par une méthode adaptée aux grandes installations technologiques et initialement nucléaires. Elle a été développée par Jean Michel Penalva au CEA. L'élément central de SAGACE est une grille de point de vue de modélisation (Figure 9). Cette grille met en avant trois visions possibles du système et trois perspectives d'analyse :

- vision fonctionnelle : ce que fait le système au contact de son environnement,
- vision organique : ensemble de ressources dont l'agencement est le produit d'une organisation,

- vision opérationnelle : logique comportementale et décisionnelle.

Les perspectives d'étude (colonnes de la grille SAGACE) mettent en évidence les liens qui existent nécessairement entre :

- Fonction et Performance du système,
- Fonctionnement et Stabilité du système
- Evolution et Intégrité du système

Cette grille permet ainsi de renseigner plusieurs modèles qui décrivent la fonction, la structure et le comportement d'un système. La démarche de modélisation associée permet alors d'explorer en profondeur chacun de ces points de vue, et ainsi d'améliorer l'intelligibilité de l'organisation sous-jacente.

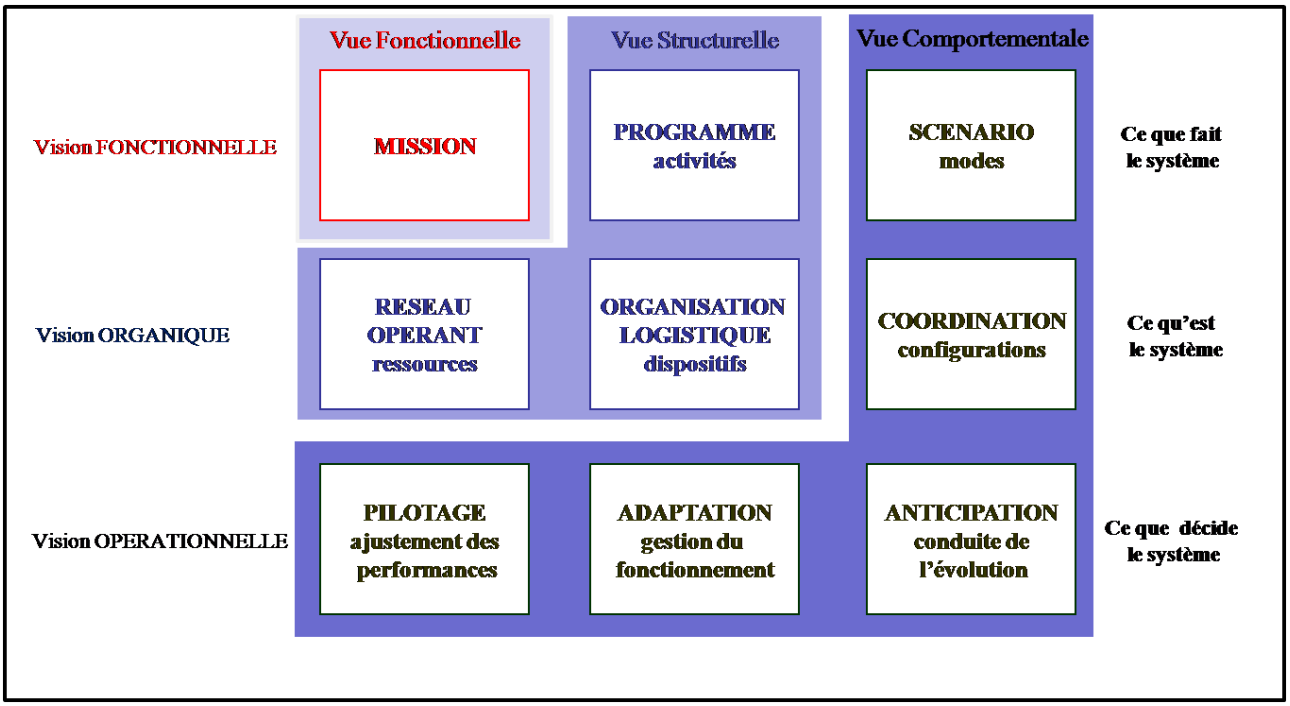


Figure 9. Grille SAGACE des points de vue de modélisation.

L'organisation du système est décrite dans SAGACE par l'ensemble des règles constitutives du système (relations ressources-activités par exemple) et de ses règles normatives (couplage des modes et des configurations par exemple).

L'évolution de l'organisation du système est traduite par le concept de « *phases du système* », une phase correspondant à un état du système où toutes les règles normatives sont satisfaites (et donc à une période de stabilité en condition opérationnelle du système). Une rupture de règle normative peut être considérée comme une transition de phase, ou due à un comportement émergent.

1.2.2 Démarche

La méthode SAGACE suit les étapes suivantes :

- Cadrage : il faut identifier le système, l'angle de vue retenu, ses contours, les acteurs qui interagissent extérieurement ou qui participent au système et les objectifs de l'étude.
- Systémographie : il faut ensuite construire une représentation du système, c'est-à-dire bâtir des modèles suivant les points de vue définis.
- Analyse : Cette étape vise à affiner les différents modèles par augmentation du niveau de détail. Les entités constitutives du système sont ici déterminées : services, activités, modes, ressources

opérantes, dispositifs, configurations, niveaux de qualité, domaines de fonctionnement, situations d'exploitation.

1.2.3 Langage de modélisation

Il existe trois types de langages de modélisation [LAMINE, 2001] :

- Langages **informels** : ils sont basés sur une description en langage naturel. Celle-ci représente une manière usuelle de communication entre les individus. Cependant, l'utilisation d'un langage informel rend la modélisation imprécise et ambiguë.
- Langages **semi formels** : ce sont en général des notations graphiques normalisées, avec seulement une syntaxe précise (par exemple SADT, UML, etc.). L'utilisation d'un langage graphique s'avère souvent utile pour la construction de modèles de compréhension. Néanmoins, le manque de sémantique fait que les problèmes d'ambiguïté et de manque de précision des modèles informels subsistent dans les langages semi formels.
- Langages **formels** : ils sont fondés sur des bases mathématiques, ayant une syntaxe et une sémantique bien définie (logiques temporelles, algèbre de processus, réseaux de Pétri, Grafcet, etc.). Les modèles formels sont précis, non ambigus et cohérents ; ils permettent de démontrer sous forme de preuves mathématiques le respect des propriétés du système ou l'équivalence entre deux modèles.

La modélisation dans SAGACE propose un langage graphique informel qui a pour but de faciliter la **représentation** du système étudié, de permettre la **communication** entre acteurs concernés et la **matérialisation** du savoir partagé sur un sujet. Ce langage graphique est présenté comme un moyen privilégié par rapport aux expressions discursives afin d'appréhender globalement et de bien mettre en évidence l'organisation d'un système, ses agencements généraux ou locaux et les interactions entes ses éléments. Ce langage idéographique traduit l'articulation de trois entités, processeur, flux et observateur au travers de transactions, d'interactions et de couplages (Figure 10).

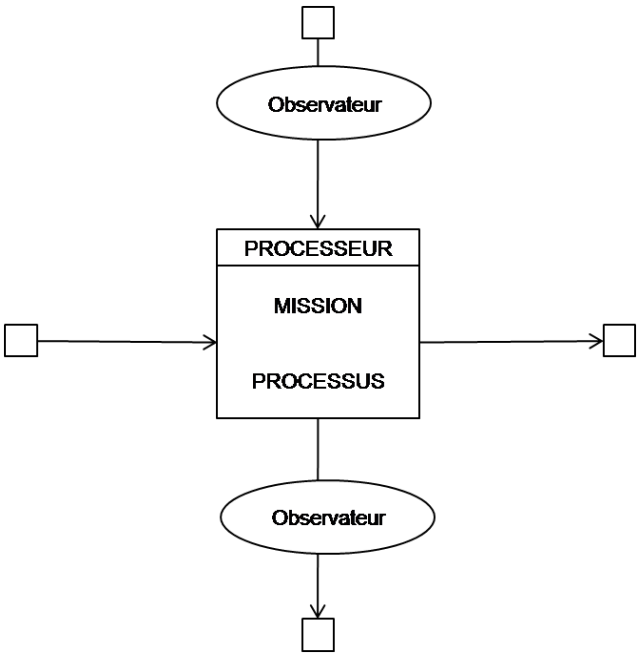


Figure 10. Composition de base du langage graphique [PENALVA, 1997]

La composition de base de ce langage exprime la notion de processeur effectuant des transactions avec son environnement (axe horizontal) et soumis à l'influence de son milieu par des interactions (axe vertical). Certaines caractéristiques de ces flux sont appréhendées par des observateurs (ellipses). Ce langage propose, à partir de trois symboles de base (boîte, flèche, ellipse) de

construire des diagrammes plus complexes. Ces diagrammes sont ensuite interprétés suivant les points de vue auxquels ils sont associés.

1.3 Conclusions

L'IS offre une démarche méthodologique générale qui englobe l'ensemble des activités adéquates pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système apportant une solution satisfaisante. Elle permet ainsi de répondre aux problèmes de type système.

SAGACE est une méthode systémique descriptive. Elle fournit, un cadre et un guide méthodologique à la réflexion autour de la notion de système complexe. Le résultat est un ensemble de modèles partiels du système concerné dont il faut s'assurer de la cohérence des uns par rapport aux autres et de la pertinence vis-à-vis de l'angle de vue adopté. L'angle de vue est soit une perspective spécifique à un acteur (jugé comme principal pour l'étude) soit une perspective partagée par l'ensemble des acteurs.

En ce qui concerne la problématique abordée par ce travail de recherche, l'utilisation de l'IS et de SAGACE en particulier présente des limitations qu'il nous faut dépasser. La première concerne le langage de modélisation choisi qui comme l'indique [PENALVA, 1997] est un langage *qui est proche du langage naturel (avec ses considérations de style, d'esthétique, de subjectivité…) que d'un langage formel axiomatique.* Malgré les avantages tels que l'aspect intuitif de la représentation ou sa souplesse, le résultat est un ensemble de modèles qui restent purement descriptifs. Or, le but de ce travail est d'aller vers des modèles prospectifs. Comme indiqué plus haut dans ce document. Nous considérons les CH comme des entreprises de service particulières ; or pour représenter cette réalité et la rendre intelligible et communicable [BRAESCH *et al.*, 1995], la recherche propose la Modélisation d'Entreprise comme base conceptuelle pour la modélisation. La seconde limitation concerne le thème central de ce manuscrit : le risque. La suite de ce chapitre présentera un état de l'art des différentes méthodes d'analyse du risque.

2 Représenter les systèmes sociotechniques complexes : la Modélisation d'Entreprise

Il existe de nombreux travaux qui traitent de la modélisation d'entreprise, chacun abordant un ou plusieurs aspects [BRAESCH *et al.*, 1995 ; VERNADAT, 1999 ; HARZALLAH, 2000 ; CATTAN *et al.*, 2001]. Dans un travail de synthèse [POURCEL et GOURC, 2005] distinguent :

1. Les **architectures de référence** comme CIMOSA [AMICE, 1993], ARIS [SCHEER, 1994], GERAM [BERNUS et NEMES, 1996] et PERA[WILLIAMS, 1994],
2. Les méthodes **opérationnelles** comme : SADT [LISSANDRE, 1997 ; I G L TECHNOLOG, 2006] qui est une méthode générale (c'est une méthode d'analyse et de conception des système. Le principe de la méthode consiste à considérer tout système complexe comme une structure composée de systèmes plus simples en interaction [VERNADAT, 1999]. Elle est à la base de la famille des langages IDEF). Citons également MERISE [TARDIEU *et al.*, 2000] qui est une méthode dédiée aux systèmes d'information, GRAI [DOUMEINGTS *et al.*, 2000 ; DUCQ *et al.*, 2005] une méthode orientée système de décision, OLYMPIOS [BRAESCH *et al.*, 1995] une méthode orientée processus et système d'information.

La modélisation d'entreprise offre donc une multitude de méthodes et d'outils développés au cours des dernières années pour répondre aux nombreux besoins de l'industrie tel que l'urbanisation d'un système d'information, la mise aux normes qualité ou bien encore l'amélioration de la productivité ou des performances, la partie qui suit ne se veut nullement exhaustive, elle passe en revue les architectures de référence les plus usitées. Selon [VERNADAT, 2002b] une architecture de référence fournit un cadre général et des points de repère indiquant aux utilisateurs quels aspects de l'entreprise doivent être pris en compte au cours de la modélisation. Une architecture de référence est un support à une méthode. Suivant la problématique abordée, l'architecture de référence sera considérée comme un canevas (une boîte à outils) qu'il faudra compléter par les approches conceptuelles du risque et l'usage de langages de modélisation.

2.1 Architectures de référence

2.1.1 ARIS

L'abréviation ARIS signifie « architecture des systèmes d'informations intégrés ». Dans les systèmes d'informations la conception générale en architecture en implique la nécessité de décrire chaque composant du point de vue de :

- sa nature,
- ses fonctionnalités,
- leur interaction.

Les nouvelles techniques de modélisation et de configuration des processus (Business Process Management - BPM) permettent de plus en plus d'orienter la mise en œuvre des systèmes d'informations autour des modèles de processus. Le système d'information devient le système de management des ou par les processus. Les concepts supportés par ARIS permettent essentiellement d'intégrer les différents aspects des processus, d'analyser leurs points communs et d'identifier les zones à décrire [SCHEER, 1994]. Le modèle ARIS offre ces possibilités aussi bien en ce qui concerne les questions de gestion et d'organisation que la mise en œuvre des systèmes d'informations.

2.1.2 CIMOSA

Le cadre de référence CIMOSA (Open System Architecture for CIM) a été développé par le consortium AMICE dans le cadre du programme ESPRIT, entre les années 1984 et 1994. Plus d'une vingtaine d'entreprises implantées en Europe ont contribué à CIMOSA. Nous avons extrait les principes de cette démarche de [FOULARD C., 1994 ; ZELM *et al.*, 1995].

L'objectif de CIMOSA est de fournir un modèle tout au long du cycle de vie d'un système de production : depuis son analyse jusqu'à son implantation, son utilisation et sa maintenance. Plus particulièrement dans le but de :

- définir précisément les objectifs de l'entreprise et les stratégies manufacturières,
- permettre de configurer et de gérer l'exploitation du système de simulation en réponse à ces objectifs,
- permettre de gérer le système dans un contexte en perpétuel changement.

Le cadre de modélisation développé dans CIMOSA (Figure 11) s'articule autour de trois axes de modélisation orthogonaux :

- l'axe de généricité qui suggère de construire le modèle particulier de l'entreprise à partir de modèles partiels, eux-mêmes exprimés en termes de construction générique de base,
- l'axe de génération qui propose de modéliser d'abord les besoins de l'entreprise. Il est appelé aussi axe des vues (fonctionnelles, informationnelles, ressources et organisations),
- l'axe de dérivation qui invite à modéliser d'abord les besoins de l'entreprise, puis les spécifications de conception et enfin la description de l'implantation.

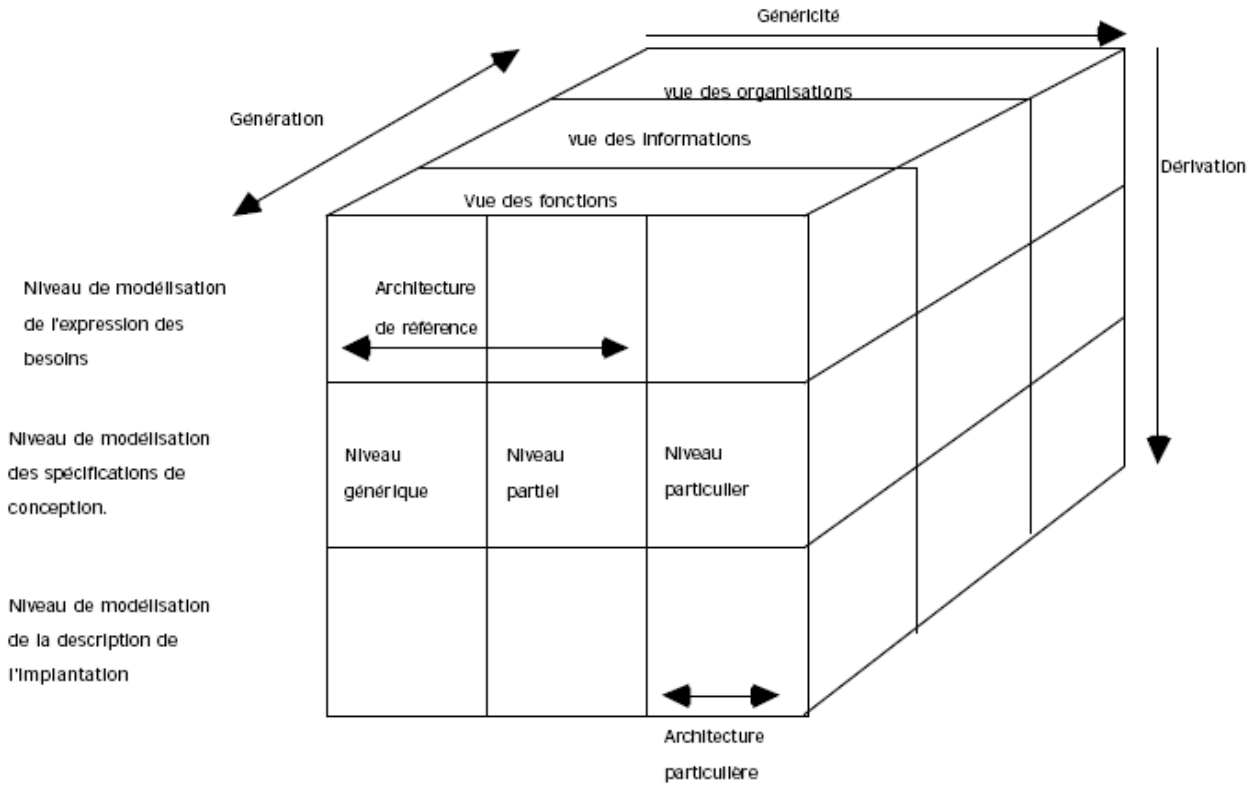


Figure 11. Le cadre de modélisation de CIMOSA [ZELM *et al.*, 1995]

Le projet AMICE a montré que l'étape la plus difficile à réaliser est celle de la maintenance et de la modification. Le changement dynamique d'un modèle en cours d'exploitation reste un problème entier pour lequel il n'existe pas de solution satisfaisante à ce jour.

2.1.3 GERAM, une architecture fédératrice

GERAM (Generalised Enterprise Reference Archiecute and Methodology) [BERNUS *et al.*, 1996 ; IFIP–IFAC TASK FORCE ON ARCHITECTURES FOR ENTERPRISE INTEGRATION, 1999] est une architecture de référence pour l'intégration des entreprises. Elle a été introduite par le groupe de travail IFAC/IFIP Task Force on Architectures Enterprise Integration. C'est une architecture qui est dérivée de CIMOSA, de GRAI-GIM [CHEN *et al.*, 1997], de PERA et de quelques autres architectures ARIS [SCHEER, 1994] CEN [CEN 40003, 2001]. Le groupe a constaté qu'il fallait préserver le meilleur des méthodes de modélisation et architectures existantes pour créer une nouvelle architecture ayant les qualités de ses aînés sans leurs défauts. L'architecture de GERAM reprend ainsi les axes principaux du cube CIMOSA en tenant compte de phases dérivées du cycle de vie proposé dans PERA ou de points particuliers de GIM. Elle ne fait toutefois pas apparaître clairement les phases de vérification / validation des modèles obtenus, et ce, à chaque étape du cycle de vie. Elle s'appuie effectivement sur les possibilités d'analyse des langages de modélisation qu'elle est susceptible d'employer.

GERAM a plusieurs objectifs, nous citerons [WILLIAMS et LI, 1997] :

- Fournir un environnement de modélisation cohérent qui mène éventuellement à un code exécutable par l'ordinateur.
- Promouvoir une ingénierie pratique pour des structures réutilisables des modèles standards.
- Se munir d'une méthode détaillée pour l'utilisation, au travers de laquelle le développement personnel de tout type d'entreprise peut facilement découler.
- Donner le meilleur traitement possible des capacités d'une entreprise d'un point de vue des systèmes.
- Etre générique à tout type d'entreprise sans se soucier de la complexité de l'industrie et de ses applications.
- Fournir une unification des perspectives pour la production, traitements, développement de l'entreprise et une gestion stratégique.

GERAM est basée sur un modèle graphique matriciel du cycle de vie d'une entreprise, utilisé comme base pour la comparaison et l'évaluation des compétences de chacune des architectures étudiées. Ce modèle a été structuré pour inclure une présentation des capacités et points forts des architectures. L'intérêt principal est l'abstraction du contexte de la modélisation pour aller vers l'unification des grandes méthodes de modélisation actuelles en élargissant leur champ d'application.

2.2 Méthodes opérationnelles : les Langages de Modélisation d'Entreprise (LME)

Dans ce qui suit nous allons nous intéresser uniquement à la partie langage de modélisation. Ces langages sont, pour leur majorité, décrits dans [PETIT et DOUMEINGTS, 2002 ; BERNUS *et al.*, 2003] et comparés plus amplement dans [SPUR *et al.*, 1996 ; VERNADAT, 1996 ; JANSSEN *et al.*, 1997 ; DÖRR *et al.*, 2001 ; MACCHI et GARETI, 2001 ; ZELM, 2001 ; BERNUS *et al.*, 2003]. La partie suivante expose quelques uns de ces langages de modélisation qui semblent les mieux correspondre aux attentes en terme systémique à savoir comportement, fonction et structure. Ils sont présentés sous forme de tableau (Tableau 3).

Nom	Description et usage
UML (Unified Modelling Language)	C'est un langage graphique de modélisation des données et des traitements. UML est un standard de la modélisation orienté objet. Il est essentiellement utilisé en informatique mais son usage se développe dans de nombreux autres domaines tels que l'expression des besoins ou la modélisation de système notamment avec l'adoption de profils. Le modèle UML se compose de 13 types de diagrammes dont l'ordre d'utilisation est laissé au modeleur. Néanmoins le diagramme de classe est considéré comme l'élément central. Il existe de nombreux ouvrages traitant d'UML [BLAHA et RUMBAUGH, 2005 ; ROQUES et VALLEE, 2007]. Néanmoins, ce langage est en évolution permanente (actuellement UML 2.0), et pour une information mise à jour il faut se référer aux sites web : **http://www.omg.org/** et **http://www.uml.org/**
SysML (System Modeling Language)	C'est un langage normalisé par l'OMG (Object Management Group : **http://www.omg.org/**). Il sert à la représentation de système. Il est spécifique au domaine de l'Ingénierie Système. SysML se définit comme un sous ensemble d'UML via l'utilisation du mécanisme de profil d'UML 2.0. Voir www.sysml.org
KAOS	C'est une méthode d'ingénierie des exigences qui permet de représenter et de structurer les différents niveaux d'exigences, d'attente et d'objectif du système [VAN LAMSWEERDE, 2000].
BPMN	Il est destiné à la modélisation de processus vus en tant que *workflow*. Langage qui a l'avantage d'être normalisé et qui permet d'exécuter les modèles (Cf. white paper de Popkin Software [POPKIN, 2003]). Voir également le site www.bpmn.org et les articles de [KOLIADIS *et al.*, 2006 ; WOHED *et al.*, 2006]
UEML (Unified Enterprise Modeling Language)	Ce langage est issu d'un projet de recherche (Themantic Network Project IST–2001–34229) financé par l'Union Européenne (EU). Le projet UEML a pour objectif de créer un groupe de travail UEML visant à faciliter l'interopérabilité entre outils de modélisation d'entreprise en créant un Langage Unifié de Modélisation d'Entreprise (UEML) au travers d'un ensemble de concepts de base. UEML Consortium www.ueml.org pour les différents délivrables du projet ainsi que [PETIT *et al.*, 2002 ; VERNADAT, 2002a ; BERIO, 2006 ; PANETTO, 2006]
PSL (The Process Specification Language)	Le Langage de spécification par propriétés. PSL est un langage formalisé comme un ensemble d'axiomes[ACCELERA, 2004 ; BOCK et GRUNINGER, 2005]. Ces axiomes servent à définir la signification de tous les concepts de ce langage (http://www.mel.nist.gov/psl/pubs.html). Ce langage est proche de LUSP (Langage Unifié de Spécification des Propriétés) [LAMINE, 2001].
eFFBD (Enhanced Functional Flow Block Diagram)	Ce langage est utilisé pour la description des processus client, support et de pilotage des entreprises [LONG, 2002].
StateChart	Décrit les changements d'état d'un objet en réponse à des événements [HAREL, 1987].

Tableau 3. Langage de Modélisation d'Entreprise

2.3 Conclusions

Afin de représenter un système de manière optimale, le modeleur doit pouvoir manipuler différents langages de modélisation permettant chacun de se focaliser sur un point de vue donné du système. Il doit également pouvoir rendre intelligible un comportement complexe et utiliser pour cela plusieurs niveaux de détails, ainsi que mettre en perspectives différents points de vue de modélisation. Les connaissances nécessaires pour décrire chaque point de vue sont de natures et de types très variés, d'origines différentes et souvent sujettes à interprétation selon la culture du modeleur. Suivant le paradigme systémique, il faut en effet représenter des points de vue téléologique (quels sont les objectifs pour lesquels le système a été construit ?), fonctionnel (quelles sont les fonctions mises en œuvre pour les atteindre ?), comportemental (quels sont les scénarios envisageables ? les mécanismes de génération des trajectoires temporelles des variables décrivant l'évolution du système ?) et structurel (quelles sont les ressources ? leur organisation en vue de soutenir l'atteinte des objectifs ? etc.). Ces connaissances peuvent être issues de diverses catégories professionnelles (pharmaceutique, médicale, soignante, administrative, informatique et support technique). Il faut alors permettre à chaque acteur d'exprimer et d'échanger avec les autres selon son niveau de compréhension et de compétence. L'analyse bibliographique a montrée la richesse des différentes architectures de référence et des langages. Les approches les plus intéressantes sont basées sur des concepts systémiques, et préconisent une vision multi vues et multi niveaux de détail afin d'appréhender le système dans sa globalité. Néanmoins, malgré les nombreux travaux qui portent sur le risque et sa représentation, ce dernier n'est pas intégré. En effet, elles ont été développées pour l'industrie afin de répondre à des besoins tel que l'amélioration de la production, l'urbanisation du système d'information, ou encore d'aide à la décision. L'apport de la modélisation n'est plus à démontrer dans l'industrie. A juste titre, la norme européenne CEN 40003 [CEN 40003, 2001] en fixe le cadre.

Ainsi pour appréhender un système complexe, Il est nécessaire d'avoir un guide lecture, de compréhension du système. Un canevas qui décrit les différents formalismes à utiliser pour atteindre l'objectif de l'étude, qui dans ce manuscrit est la maîtrise du risque dans un système complexe à caractère sociotechnique. La méthode basée sur l'Ingénierie Système est une adaptation de SAGACE et va permettre d'obtenir une vision globale multi vues et hiérarchisée du système ainsi que des outils pour le raisonnement. La méthode SAGACE sera donc utilisée comme une boite à outils. Chaque vue qu'elle propose de décrire permet ainsi de manipuler une représentation donnée du système. Pour cela, un ou plusieurs langages basés sur des formalismes textuels ou graphiques peuvent être utilisés.

Dans la suite de ce document nous allons présenter dans un premier temps les outils d'analyse des modèles puis faire un état de l'art sur l'analyse du risque.

3 Raisonner sur les modèles des SSC

3.1 L'analyse des modèles

Nous nous plaçons ici dans un contexte d'analyse de la construction du modèle, c'est-à-dire une analyse *a priori*. Le tableau suivant va présenter les différentes techniques de vérification de modèles. Ces techniques ainsi que les outils associés sont plus amplement développées et discuter dans [CHAPURLAT *et al.*, 2003 ; YAHODA, 2003 ; KAMSU-FOGUEM, 2004].

Nom	Description
Vérification par analyse statique	Elle conduit à la détection des erreurs en examinant le modèle. L'analyse peut être manuelle (revue technique en équipe) ou automatique. Elle permet de voir les erreurs du type : oubli, de détecter des anomalies du type syntaxique et plus généralement de vérifier le respect des normes de construction des modèles sans aucune exécution.
Vérification par analyse dynamique	Cette technique permet de déterminer la validité d'un sous-ensemble de modèle en étudiant la réponse à un ensemble de données en d'entrées. Pour ce type d'analyse, les techniques basées sur la simulation et le test sont utilisés.
Vérification par analyse formelle	Elle est basée sur l'utilisation des techniques mathématiques pour prouver l'existence et l'exactitude de propriétés d'une solution. Pour cela l'utilisation de langages formels est nécessaire.

Tableau 4. Les différentes techniques de vérification

Ces différentes catégories de vérification se mettent en œuvre tout au long de la modélisation. Elles pourront être utilisées seules ou en combinaison comme présenté dans la Figure 12.

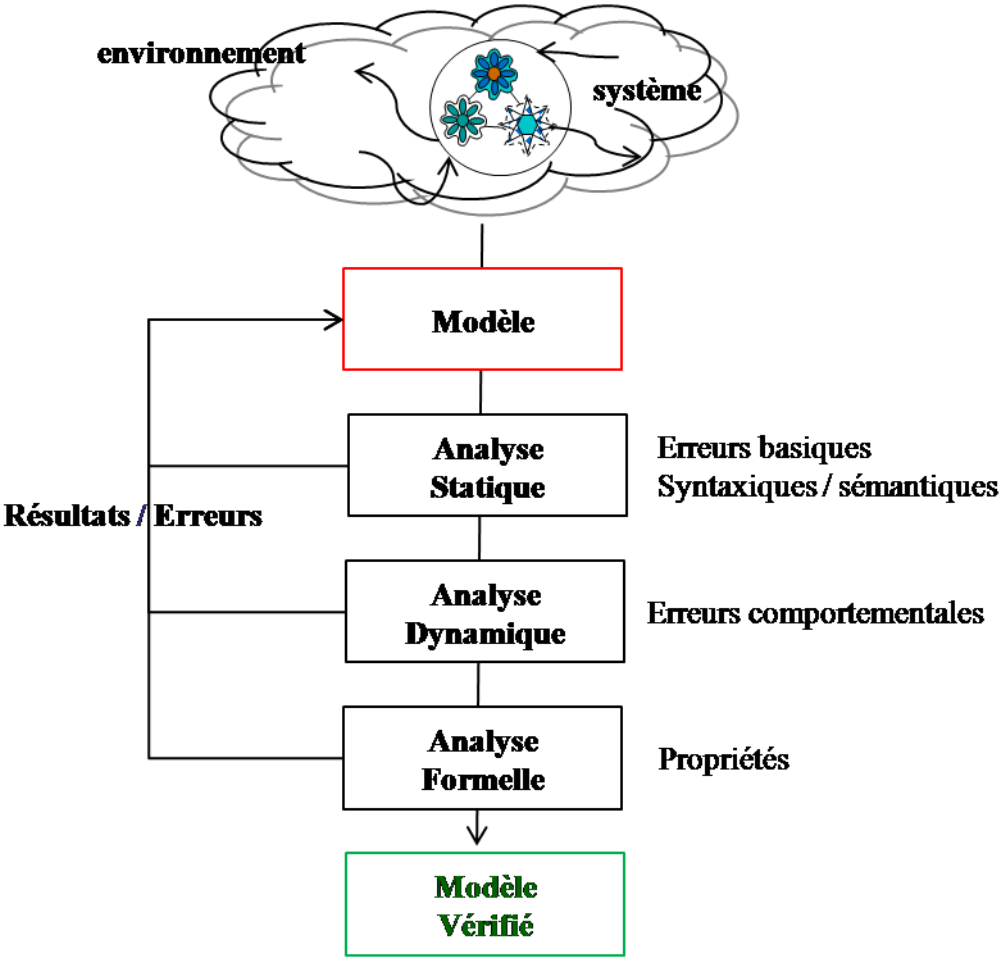


Figure 12. Enchaînement des différentes analyses (inspiré de [KAMSU-FOGUEM, 2004] et [CALVEZ, 1992])

Ces différentes techniques permettent d'accroître la qualité des modèles. Il parait intéressant de les combiner, notamment l'analyse dynamique en employant la simulation, néanmoins ce travail se concentre uniquement sur l'analyse formelle en poursuivant l'axe de travail de l'équipe de recherche tel que présenté dans [CHAPURLAT, 2007].

3.2 L'analyse du risque

Comme indiqué précédemment le risque sera défini de manières différentes suivant le point de vue par lequel il sera abordé. Cela s'applique également à son analyse. L'analyse est définit selon [PERILHON, 1999] comme *toute démarche structurée permettant d'identifier, évaluer, maîtriser, manager et gérer des risques et notamment les risques industriels*. Dans la littérature, plusieurs expressions sont donc utilisées pour qualifier l'appréhension du risque au sein des organisations. La Figure 13 [MONTMAIN *et al.*, 2007] situe ces différences qui seront explicitées dans la suite de ce document.

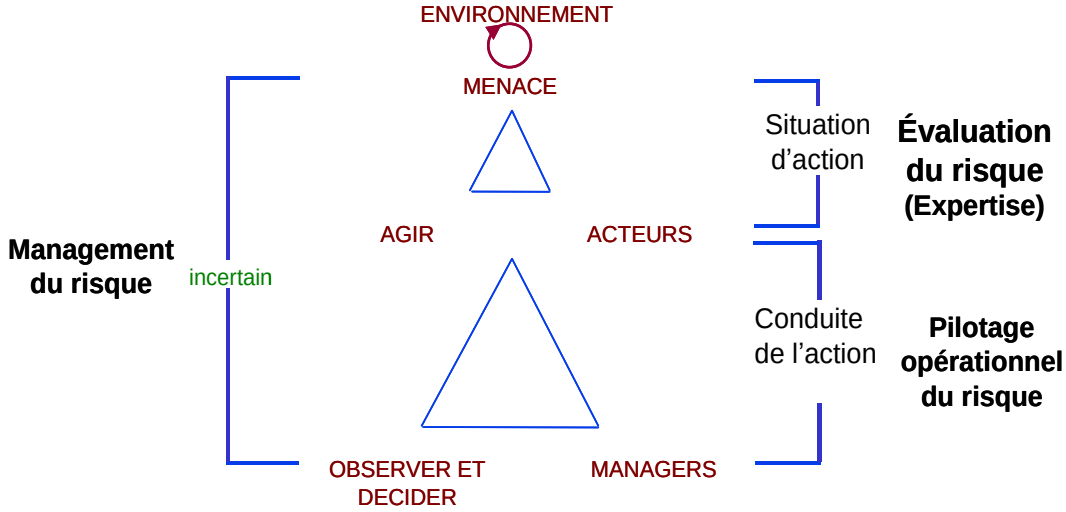


Figure 13. Le risque et sa perception

1. L'évaluation du risque (ou estimation risque) fait référence à la caractérisation des effets nocifs sur la santé qui peuvent résulter de l'exposition des humains à des dangers environnementaux. L'évaluation consiste à analyser les dangers sur le niveau de risque que court le système. Elle l'œuvre d'expert du domaine et est très liée à leur expérience. Dans les entreprises, c'est un moyen de préserver la santé et la sécurité des travailleurs sous la forme d'un diagnostic en amont des facteurs de risques auxquels ils sont exposés. D'ailleurs depuis 1991 [LOI N° 91-1414, 1992], tout chef d'entreprise est tenu de procéder à une évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs. Cela se traduit par la mise en place du Document Unique [ARTICLE R230-1, 2001]. Il permet de lister les risques pouvant nuire à la sécurité de tout salarié et de préconiser des actions. Ce document doit faire l'objet de réévaluations régulières. L'intérêt du Document Unique est de permettre de définir un programme d'actions de prévention découlant directement des analyses qui auront été effectuées. L'objectif principal est de réduire les accidents du travail et les maladies professionnelles. L'évaluation du risque est ensuite combinée à la gestion du risque en vue d'élaborer des plans d'action qui protégeront le système contre les dangers environnementaux jugés critique à l'issue de l'évaluation. L'évaluation est pratiquée sur la base d'outils et de méthodes issus de l'industrie. Une études plus approfondie sur 62 méthodes a été réalisée par [TIXIER, 2002] tels que l' AMDEC (Analyse des Mode de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité) qui est une technique d'évaluation des défaillances afin de déterminer la fiabilité d'un équipement ou d'un système [LANDY, 2002 ; SCIPIONI *et al.*, 2002 ; ZUPA *et al.*, 2006]. La méthode HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) qui correspond à l'analyse des dangers et des points critiques pour leur maîtrise [REILLY et KAFERSTEIN, 1997 ; CAMPBELL-PLATT, 2002 ; FAO, 2003]. "*La méthode HACCP est une approche systématique d'identification, de localisation, d'évaluation et de maîtrise des risques potentiels en matière de salubrité des denrées dans la chaîne alimentaire*." Définition donnée par la FERCO (Fédération Européenne de Restauration Collective). La méthode HAZOP, pour HAZard OPerability, a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970 [LARKIN, 1996 ; KLETZ, 1997 ; LAKNER *et al.*, 2006]. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité. Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques
2. Management du risque : gestion de l'incertain par rapport aux enjeux de l'entreprise. Le concept même de management du risque peut être redéfini avec plus de profondeur, comme reposant sur le traitement de l'incertain dans l'évaluation et la gestion des risques. Un principe essentiel de management consiste à reconnaître la nature même de la situation, avant de s'intéresser à la prise de décision et à la conduite de l'action [MONTMAIN *et al.*, 2007]. Le management du

risque revêt une importance capitale puisque les choix adoptés aux niveaux de décision (hiérarchique élevé) vont avoir un impact important sur les gestionnaire du risque à un niveau local [DAFEL *et al.*, 2000].

3. La gestion des risques concerne la conduite de l'action. Ce sont les mesures prises par les responsables suite à une évaluation des risques. On distingue quatre manières de gérer le risque :

   A. L'évitement : l'activité présentant un risque, on ne fait pas l'activité. Du point de vue des décideurs, cette stratégie est la moins risquée et la moins chère, mais elle est un frein au développement de l'entreprise. De plus, la plupart du temps, elle reporte le risque sur d'autres entreprises, ou bien elle le remet à plus tard. Si le risque est susceptible de devenir majeur, l'évitement n'est pas une attitude responsable.

   B. L'acceptation : le risque est accepté et l'on contracte une assurance si on souhaite le transférer ou on le provisionne dans les comptes de l'entreprise à des fins de réduction des risques financiers ; cette approche ne permet pas de protéger les personnels ni l'outil de production tant qu'aucune volonté de réduction du risque ne se manifeste.

   C. Le transfert : d'un point de vue financier, c'est le transfert des risques vers une assurance. Une garantie financière est contractée par le dirigeant confronté au risque. Ces garanties couvrent le risque économique (par exemple les pénalités de retard pour les sous-traitants de l'automobile) ou le risque pénal pris par le dirigeant.

   D. La réduction du risque : c'est l'analyse par la recherche des facteurs de risques et des vulnérabilités, la maîtrise des risques par les mesures de protection et de prévention.

C'est sur ce dernier point que va s'accentuer ce travail de recherche. La perspective de développement réside maintenant dans la recherche de solutions permettant de réduire la vulnérabilité de l'organisation, de réduire sa propension à subir des dommages et d'améliorer sa résilience. La vulnérabilité est vue comme la prédisposition à un dommage ou à une issue négative quelconque. La propension à subir des dommages est une perte de maîtrise des processus cindynogènes (accroissement des déficits, prise de risque, accidents, scénarios catastrophiques).

3.3 Cadres conceptuels

Suite à une analyse bibliographique, trois cadres conceptuels du risque, présentés ci-dessous mettent en avant la nécessité d'une approche systémique.

3.3.1 Le processus de danger : l'approche MADS

3.3.1.1 Définition

Le modèle MADS (Méthodologie de dysfonctionnement des systèmes), appelé aussi ***Univers du danger*** est un outil initialement à vocation pédagogique qui permet de construire et de comprendre la problématique de l'analyse des risques. Il est construit sur les bases des principes de la modélisation systémique développés par [LE MOIGNE, 1977]. L'univers du danger est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement [PERILHON, 1999] (Figure 14). MADS définit la science du danger comme «*le corps de connaissance qui a pour but d'appréhender des événements non souhaité (ENS)*». Les ENS sont définis comme «des dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets non souhaités sur l'individu, la population, l'écosystème, les installations». Appréhender les ENS signifie :

- représenter : les systèmes sur lesquels vont agir les ENS (systèmes sources et cibles),
- modéliser : mettre en relation les systèmes sources et cibles,

1 identifier, évaluer, maîtriser, gérer, manager les ENS - la prévention et apprentissage (retour d'expérience)

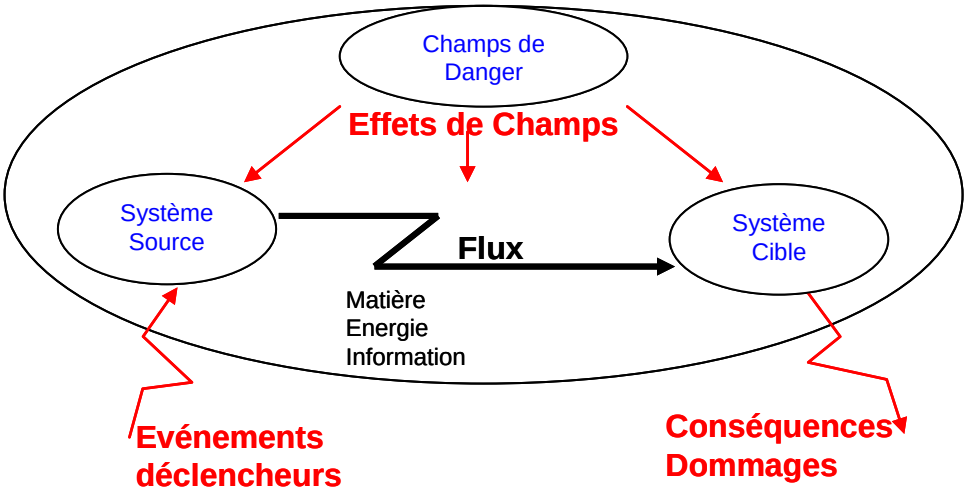


Figure 14 : MADS – Modèle du processus de danger.

Le modèle de processus de danger va faire le lien entre les processus sources de danger et ceux susceptibles d'être affectés au niveau du système cible. Ce lien va apparaître dans le modèle sous la forme d'un flux de danger orienté de la source à la cible. La Figure 14, illustre ce mode de représentation.

3.3.1.2 Mise en œuvre

La méthode MOSAR (Méthode Organisée et Systémique d'Analyse de Risque) est articulée au niveau méthodologique autour de MADS et de la science du danger, et au niveau des outils autour des analyses de sécurité des installations. Cette méthode va intégrer la participation des acteurs pour une négociation des objectifs et met en œuvre les outils classiques de gestion du risque tels que HAZOP, les arbres de défaillance, etc. Dans ce qui suit, nous allons succinctement présenter MOSAR mais cette technique est plus amplement expliquée par [PERILHON, 1999].

Cette méthode se décline en 2 modules, le module A qui va servir à mener une analyse macroscopique et le module B dans lequel, le système va être analysé de manière microscopique avec les outils classiques de la sûreté de fonctionnement. La démarche va se dérouler suivant les étapes suivantes :

1. Module A : Analyse Macroscopique

   - Identification des sources de danger
   - Identification des scénarios de risques
   - Évaluation des scénarios
   - Négociation générale des objectifs et hiérarchisation des scénarios
   - Définition des moyens de prévention

2. Module B : Analyse Microscopique

   - Identification des risques de fonctionnement
   - Évaluation des risques à partir d'arbres
   - Négociation précise des objectifs de prévention
   - Affinement des moyens de prévention

MADS est largement issue de la sécurité de fonctionnement. Elle va nous permettre de réfléchir et d'agir autour de *l'Événement Non Souhaité*, ce cadre théorique est renforcé par les connaissances issues des multiples techniques du danger.

3.3.2 Concepts issus des sciences sociales : l'approche cindynique

3.3.2.1 Définition

Le cadre cindynique tire son nom du grec Kindunos qui signifie danger. Elle a été fondée en 1987 lors du colloque Interindustriel organisé par l'ACADI[6]. Cette approche est promue par l'Institut Européen des Cindyniques (IEC[7]). Les principaux concepts cindyniques reposent sur une représentation à 5 dimensions de la situation observée qui va être qualifiée d'hyperespace du danger. Il est définit [KERVERN, 1995] au travers des 5 dimensions (Figure 15) qui sont :

- les faits représentant les statistiques communément reconnus comme représentant la réalité,
- les modèles pris comme base commune de connaissance,
- les objectifs partagés par les acteurs du système,
- les règles qui représentent les normes et principes déontologiques,
- les valeurs, par exemple une certaine transparence.

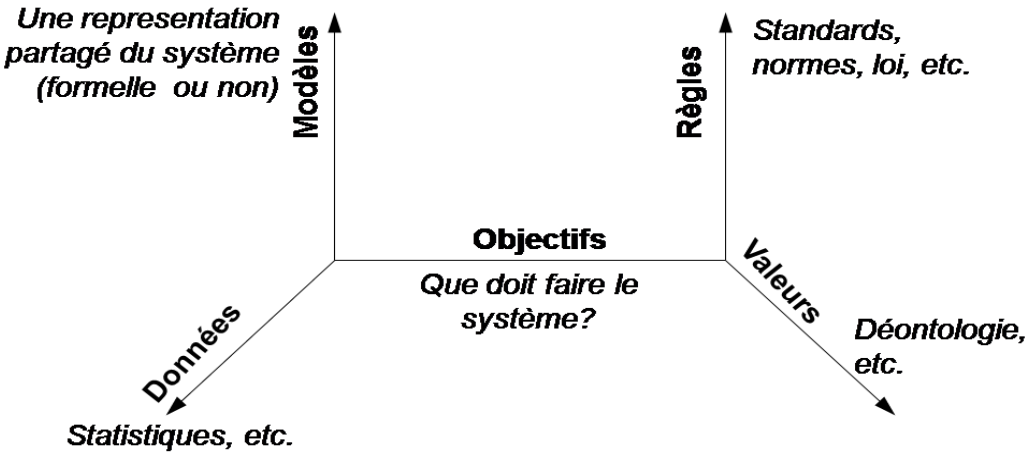


Figure 15 : Hyperespace du danger

Les concepts permettant ensuite d'analyser le risque et s'appuyant sur cette représentation sont le concept de Déficit Systémique Cindynogène (DSC) et de dissonance.

3.3.2.2 Les Déficits Systémiques Cindynogènes

Les DSC ont été définis de manière empirique, à partir d'enquêtes post-accident. D'après [KERVERN, 1995], ils se divisent en 3 grands types :

Les DSC culturels – Vulnérabilité liée à la culture des réseaux d'acteurs :

A. DSC 1 : Culture d'infaillibilité.
B. DSC 2 : Culture de simplisme.
C. DSC 3 : Culture de non communication.
D. DSC 4 : Culture nombriliste.

Les DSC organisationnels – Vulnérabilité liée à l'organisation des réseaux d'acteurs :

[6] Association de Cadres Dirigeants de l'Industrie
[7] IEC: http://www.cindynics.org

E. DSC 5 : Subordination des fonctions de gestion du risque aux fonctions de production ou à d'autres fonctions de gestion créatrices de risques.

F. DSC 6 : Dilution des responsabilités. Non explication des taches de gestion des risques. Non affectation des taches à des responsables désignés.

Les DSC managériaux - Vulnérabilité liée aux décisionnaires :

G. DSC 7 : Absence d'un système de retour d'expérience.

H. DSC 8 : Absence d'une méthode cindynique dans l'organisation.

I. DSC 9 : Absence d'un programme de formation aux cindyniques adapté à chaque catégorie de personnel.

J. DSC 10 : Absence de planification des situations de crise.

La détection et le traitement des DCS permettent de diminuer la vulnérabilité du système.

3.3.2.3 La dissonance

La dissonance (Figure 16) est par contre définie comme l'écart qu'il y a entre chacun des axes de deux hyperespaces décrivant chacun le même système vu par deux groupes d'acteurs différents. Ce concept permet d'avoir une vision globale de la situation courante et non une vision par acteur.

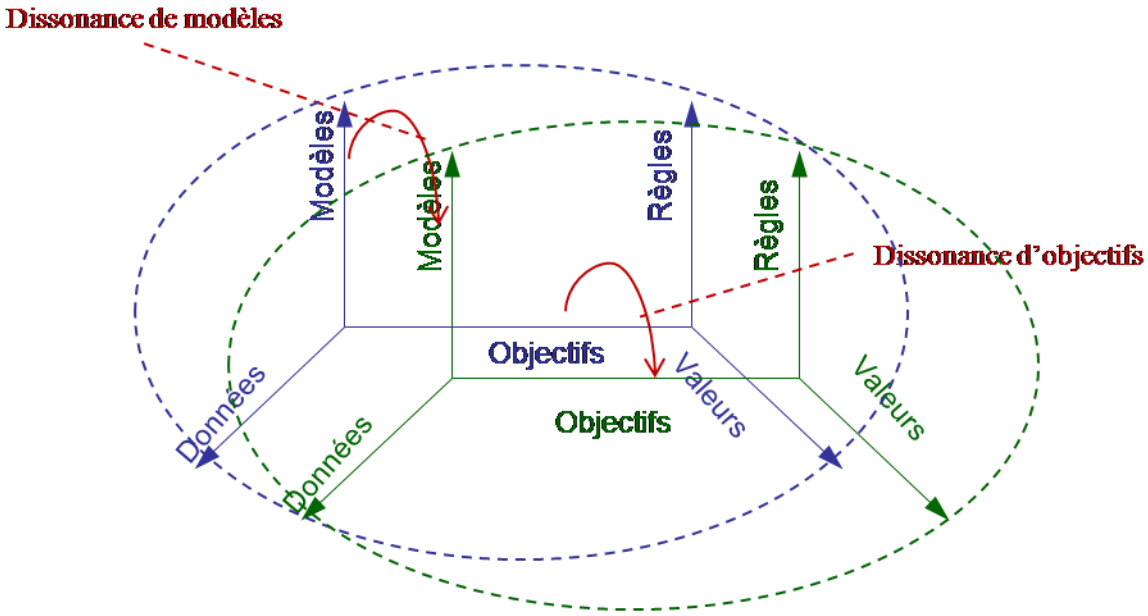


Figure 16. Dissonance entre 2 réseaux d'acteurs

3.3.2.4 Application

Par exemple, la crise de la vache folle décrite par [NICOLLET, 1999] montre le concept de dissonance entre les différents acteurs de l'époque (agriculteurs, gouvernements, etc.). Ce concept permet d'avoir une vision globale de la situation courante et non une vision par acteur. Néanmoins, la mise en œuvre des cindyniques, si l'on se réfère à la bibliographie d'exemples traités, semble plus aisée *a posteriori*, ce type d'approche apporte une finesse au niveau de l'analyse et développe de manière empirique le concept de vulnérabilité du système grâce aux DSC.

3.3.3 Le management du risque : l'approche par les situations de management

3.3.3.1 Définition

Le comité sur le management du risque en entreprise (Committee on Enterprise Risk Management) du CAS (Casualt Actuarial Society) [CAS, 2003] a adopté la définition suivante de management du risque en entreprise (Enterprise Risk Management) : "*ERM is the discipline by which an organization in any industry assesses, controls, exploits, finances, and monitors risks from all sources for the purpose of increasing the organization's short- and long-term value to its stakeholders*". L'entreprise est alors vue sous forme de situation de management, que le décideur doit prendre en compte pour savoir où son entreprise se situe et vers quelle situation il est nécessaire d'aller. Maîtriser le comportement de ce type d'organisation nécessite de savoir la piloter, c'est-à-dire de contrôler son comportement, d'être apte à l'adapter ou à anticiper certains phénomènes en tenant compte de ces contraintes, de ces risques, dans des situations inattendues ou non prévues. [SUNDSTRÖM *et al.*, 2006] considèrent qu'une entreprise confrontée à son environnement peut évoluer selon trois états (Figure 17) :

A. L'état sain dans lequel le manageur a le contrôle total de l'entreprise,
B. L'état non sain où le niveau d'incertitude est élevé, le pilotage est risqué.
C. L'état catastrophique où il n'y a pas plus aucun contrôle, l'entreprise n'est plus piloter, elle « dérive ».

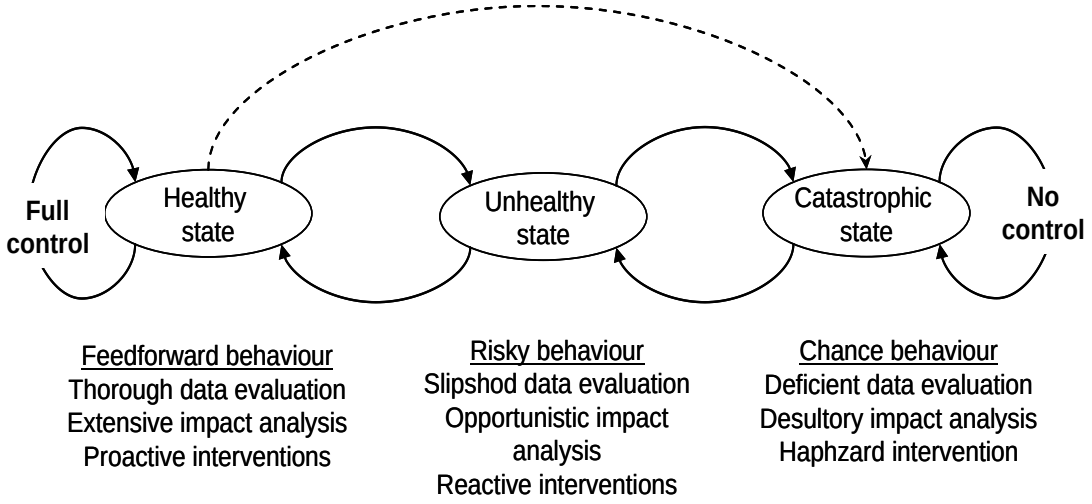


Figure 17. Les trois états d'un système entreprise [SUNDSTRÖM *et al.*, 2006]

Ces travaux sont complétés par ceux de [MONTMAIN *et al.*, 2007], qui définit 4 situations (Figure 18) qui font apparaître autant de types de pilotage possibles :

- Routine : le système fonctionne de façon nominale et dans les conditions attendues. Il s'agit alors de pilotage procédural.
- Maîtrise : le système a dérivé. Il faut intervenir pour maîtriser la situation et de ce fait le mode de pilotage dynamique est amorcé.
- Urgence : le système subit des conséquences dommageables. Le pilotage du système est forcé.
- Exception : les moyens d'action sont surchargés ou inopérants, le système est déstabilisé. Le pilotage global devient alors impossible.

Lorsqu'un système est dans une situation de routine ou de maîtrise, il est exposé au risque mais cela reste une probabilité, on parle alors de système vulnérable. Par contre, lorsqu'un système se trouve dans les situations d'urgence ou d'exception, il y a déjà des dommages. Il faut alors agir pour retourner à une situation plus stable. La maîtrise des risques consiste ainsi à éviter l'aggravation de

la situation dans laquelle se trouve le système. Le management du risque relève de la gestion de l'incertain dans l'évaluation et la maîtrise des risques.

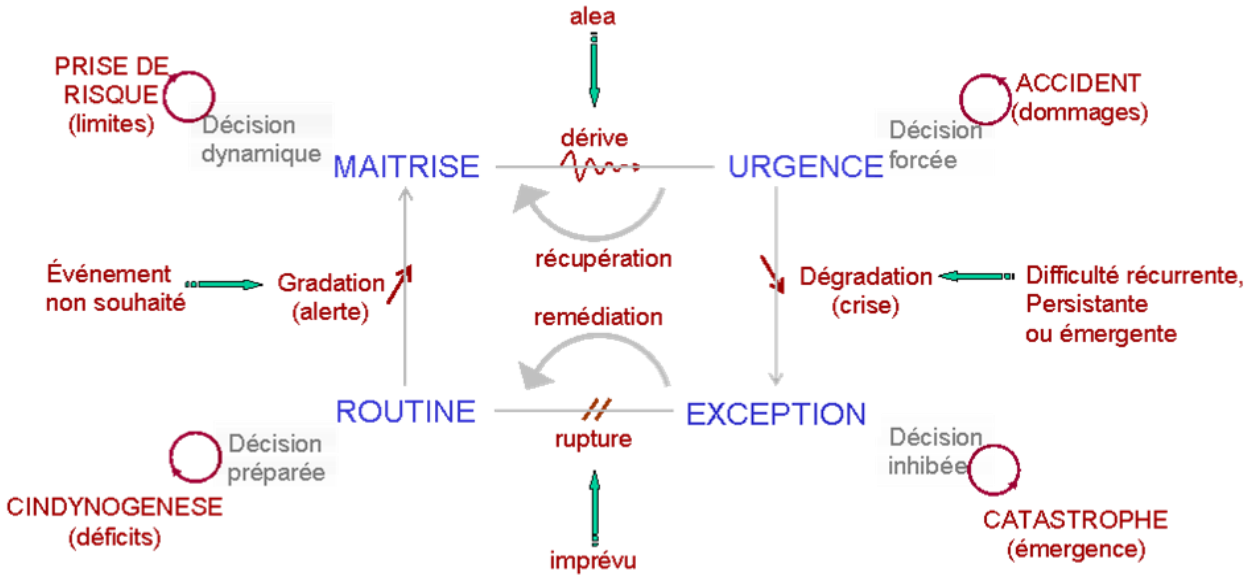


Figure 18. Les situations de management des risques

3.3.3.2 Application

Le management du risque peut être fondé sur deux approches stratégiques : l'anticipation et la recherche de résilience [MONTMAIN *et al.*, 2007] :

- L'anticipation consiste à rechercher la parade a priori à toutes les situations envisageables ; cette stratégie paraît réaliste dans le cas de prise en compte de risque avéré ; elle serait fondée sur l'analyse des défaillances possibles ;
- Face au risque incertain, une autre stratégie consisterait à améliorer les capacités de résilience[8] [du système considéré] en situation imprévue.

3.4 Conclusion

Les différents cadres conceptuels présentés dans cet état de l'art et résumé dans le Tableau 5 apportent un socle théorique à l'analyse du risque. MADS et le modèle des processus de danger se présente alors comme des outils généraux qui vont apporter des moyens concrets et éprouvés pour appréhender le risque, néanmoins il n'y a pas de prise en compte du système et de ses processus métier. La mise en œuvre de l'approche cindynique, si l'on réfère à la bibliographie d'exemples traités, semble plus aisée *a posteriori*. Par exemple, la crise de la vache folle [NICOLLET, 1999]. Cette méthode apporte tout de même une finesse au niveau de l'analyse et développe de manière empirique le concept de vulnérabilité du système grâce aux déficits systémiques cindynogènes (DSC), ce concept sera utilisé dans la suite de nos travaux pour représenter les « manques » d'un système. L'approche par les situations de management aborde l'aspect décisionnaire, elle permet de prendre du recul face à une situation, elle ne sera toute fois pas utilisé dans la suite de ce travail, puisque nous nous plaçons dans une perspective de gestion opérationnelle du risque et non dans un cadre décisionnel.

[8] Capacité d'un système à revenir à état nominal à la suite d'un choc [VICKERS G., 1965] VICKERS G. (1965). The Art of Judgement, Methuen. Londres.

Cadres conceptuels	Type de risque
MADS	Risque déjà répertorié par exemple dans un référentiel, quantifié et/ou qualifié, explicable et quelquefois déjà maîtrisé. Développé pour la sûreté de fonctionnement.
Cindyniques	Risques potentiels liés à l'organisation et aux acteurs du système, approche issu des sciences humaines et sociales.
Management des situations	Risques liés aux décisions face à une situation incertaine.

Tableau 5. Cadres conceptuels pour la modélisation et l'analyse des risques

4 Synthèse et proposition

L'objectif poursuivi dans ce travail de recherche est la réduction des risques inhérents au patient lors de sa prise en charge. La représentation du comportement de l'organisation, des ressources impliquées, des processus et des activités mis en œuvre au sein d'un Centre Hospitalier permet effectivement de s'interroger sur certaines pratiques, d'identifier des points d'amélioration et les risques liés à cette organisation.

Ces risques peuvent être liés à des non-conformités réglementaires, à des risques déjà rencontrés ou à des risques émergents dus à l'interaction incessante entre les ressources et entre ces ressources et leur environnement. Ces risques peuvent avoir un impact local (sur le patient, c'est le risque iatrogène) et/ou induire un impact à un niveau plus global, c'est à dire sur la performance de l'établissement.

Il parait donc important de disposer de modèles de cette organisation et de moyens permettant d'analyser l'occurrence potentielle de ces risques.

L'approche développée au cours de ce travail doit donc répondre à trois objectifs :

- La **modélisation** doit permettre d'améliorer la connaissance que les acteurs impliqués ont du système (de ses processus, activités, modes opératoires, de son organisation et de ses ressources). Le but est de bâtir une représentation partagée et intelligible par tous les acteurs concernés.
- L'analyse est la phase d'**exploitation des modèles** qui consiste à détecter et à mettre en avant des situations dites « *à risque* » qui ne sont pas suffisamment ou incomplètement maîtrisées dans l'état actuel de l'organisation.
- La recherche de **solutions**, c'est-à-dire la réduction des causes ou des effets engendrés par ces situations à risque, en collaboration avec les professionnels de santé permet enfin d'adapter l'organisation aux contraintes qu'elle subit.

Le chapitre suivant présente comment ce travail de recherche répond aux deux premiers points. Il commence par des bases théoriques avec la description et la formalisation des principes fondateurs de modélisation et d'analyse. La démarche de mise en œuvre et l'aspect pratique avec les outils supports sont ensuite présentés.

Chapitre III : Approche pour la maîtrise opérationnelle du risque

1 Introduction

Dans le but de satisfaire les contraintes liées à l'activité médicale et imposées par les déférentes autorités (Ministère, Agences, Ordres, etc.) sans nuire au patient, l'approche développée propose de modéliser le système puis d'analyser les modèles résultant à l'aide de mécanismes de preuve formelle. De ce fait, ce travail est pluridisciplinaire et s'appuie sur l'Ingénierie Système. Il se trouve au carrefour de nombreux domaines qui sont la Systémique, la Modélisation d'Entreprise, les Cindyniques pour l'aspect modélisation et le Génie Informatique pour entre autres, l'aspect raisonnement (Figure 19).

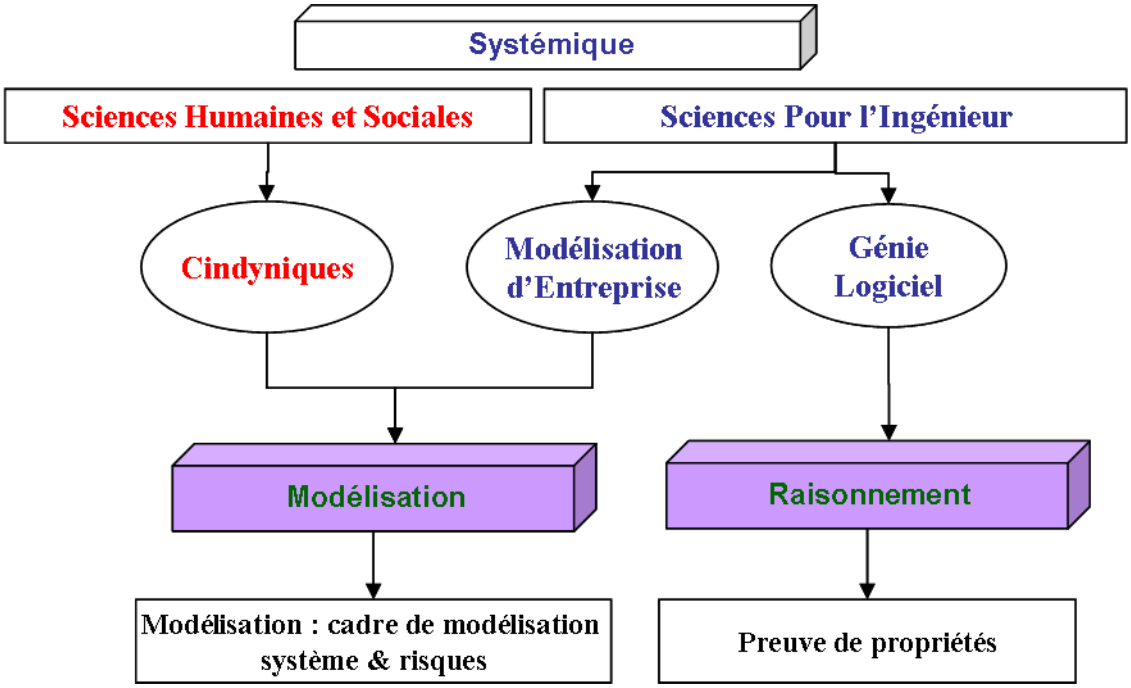


Figure 19. Ingénierie système : approche pluridisciplinaire

Ce chapitre va s'organiser suivant la définition de la méthode proposée par [MEINADIER, 1998]. Dans un premier temps nous allons décrire la phase de modélisation ainsi que les principes et les langages qui la caractérisent. Dans un second temps, nous présenterons les principes et la formalisation de l'analyse des modèles. Enfin, le guide méthodologique et les outils supportant la méthode seront explicités.

2 Modélisation

2.1 Principes

L'objectif poursuivi dans cette section est de supporter le travail de modélisation c'est-à-dire d'aider les acteurs à bâtir une représentation partagée et intelligible du système. Il s'agit également d'améliorer à la fois la qualité et la quantité de connaissance que les acteurs impliqués possèdent sur le système en question, de ses modes opératoires, de son organisation et de ses ressources.

Cela suppose une démarche rigoureuse, structurante et s'inspirant de méthodes et de langages de modélisation éprouvés. Cette démarche s'appuie ici sur le paradigme systémique et la Modélisation d'Entreprise.

Ainsi, comprendre un système complexe nécessite de décrire plusieurs vues qui donnent chacune des détails d'un type particulier de ce système. Suite aux travaux de [LE MOIGNE, 1977], trois vues sont nécessaires :

- L'aspect **fonctionnel** qui est relatif aux finalités du système et vise à décrire sa mission.
- L'aspect **structurel** qui vise à décrire les relations entre composants et activités.
- L'aspect **comportemental** qui est lié à la dynamique d'évolution du système et à ses modes de fonctionnement.

Dans l'approche proposée, ces trois aspects sont complétés par un aspect propriété [ALOUI *et al.*, 2006a] afin d'enrichir la représentation. En effet, pour améliorer le niveau de connaissance comme la qualité et la complétude de cette connaissance contenue dans les modèles, il est proposé d'introduire le concept de propriété tel que défini par [LAMINE, 2001] : « *Une propriété représente une exigence, une finalité ou une caractéristique qu'un modèle ou un système doivent satisfaire* ». Les propriétés permettent en effet de focaliser l'attention des acteurs sur des connaissances de type :

- Axiomatique : propriétés qui caractérisent essentiellement l'environnement ou les caractéristiques immuables du système.
- Système : propriétés qui décrivent les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles du système sociotechnique.
- Modèle : propriétés qui caractérisent les règles de construction et de sémantique opérationnelle d'un langage de modélisation (les règles d'activation du Grafcet par exemple) ou les propriétés classiques (comme le bornage ou vivacité dans un Réseau de Petri par exemple) d'un modèle.

Enfin, divers intervenants et métiers sont amenés à collaborer et à échanger. Il est donc nécessaire de prendre en compte la culture et certaines des connaissances spécifiques à chacun de ces acteurs ou métiers. Pour que tous se mettent d'accord sur les connaissances professionnelles présentes dans le modèle. Il est proposé de bâtir de proche en proche une ontologie. [USCHOLD *et al.*, 1998] définit une ontologie comme « *a formal, explicit specification of a shared conceptualization* ». L'objectif poursuivi est d'apporter un consensus sur les termes présents dans le modèle et ainsi de lever toute ambiguïté. Le travail entrepris a donc consisté à intégrer ces différentes vues dans un cadre de modélisation puis de choisir et d'enrichir chaque vue avec des langages de modélisation appropriés (Figure 20).

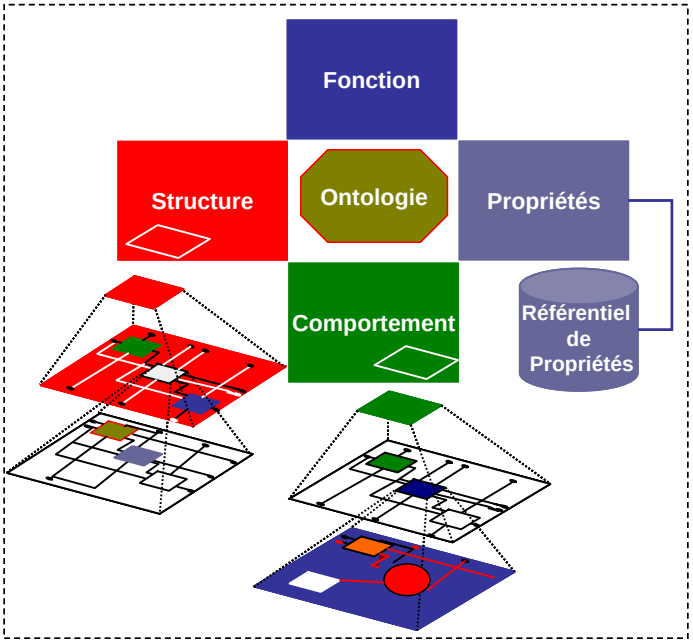


Figure 20. Approche de modélisation en 4 vues

2.2 Cadre de modélisation

L'approche de modélisation proposée est basée sur une adaptation du cadre SAGACE présenté dans le chapitre précédent. Cette adaptation consiste à intégrer, d'une part, des langages de modélisation d'entreprise (LME), d'autre part, des langages de modélisation de propriétés, enfin, à se placer à un niveau de formalisation tel qu'elle permette de mettre en œuvre des outils de preuve présentés plus loin. Selon SAGACE, chaque vue de modélisation se divise en point de vue, ces points de vue sont des *espaces homogènes de représentation du système* [PENALVA, 1997]. Les vues proposées sont interconnectées et chacune nécessite de décrire un ou plusieurs points de vue (Figure 21). Chaque point de vue fait ensuite appel à un ou plusieurs langages de modélisation dédiés.

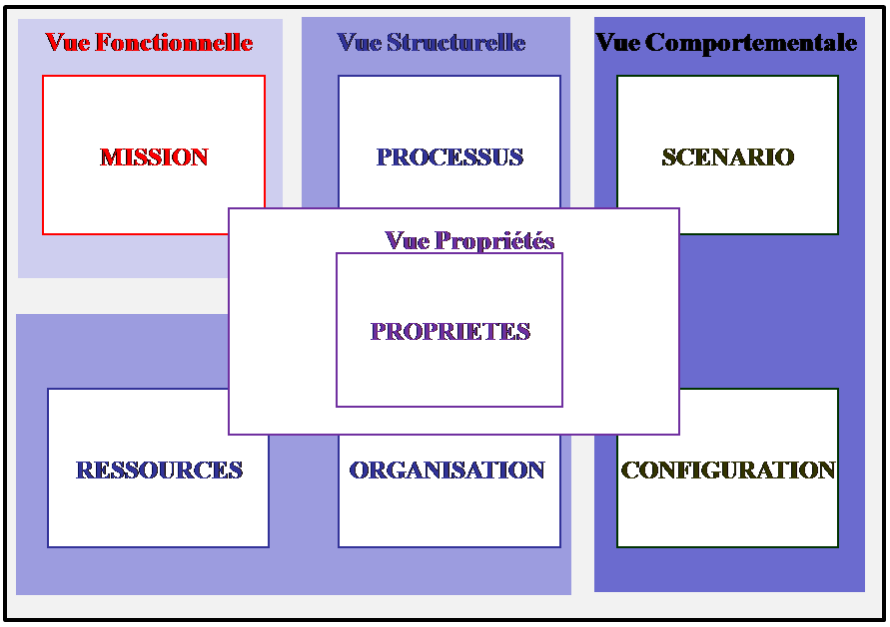


Figure 21. Points de vue de modélisation

La suite détaille chacune de ces vues, des points de vue et des langages de modélisation associés. Pour des fins de formalisation, chaque langage est pourvu et décrit dans un méta modèle dont le principe est illustré dans la Figure 22. Le but d'un méta modèle est de modéliser, indépendamment de leur forme et de leur contexte, les concepts contenus dans les modèles [BRAESCH *et al.*, 1995].

La méta modélisation va se présenter en niveaux hiérarchiques. Un méta modèle étant par définition un modèle de niveau supérieur, on retrouve ainsi les éléments permettant la catégorisation des entités du niveau inférieur.

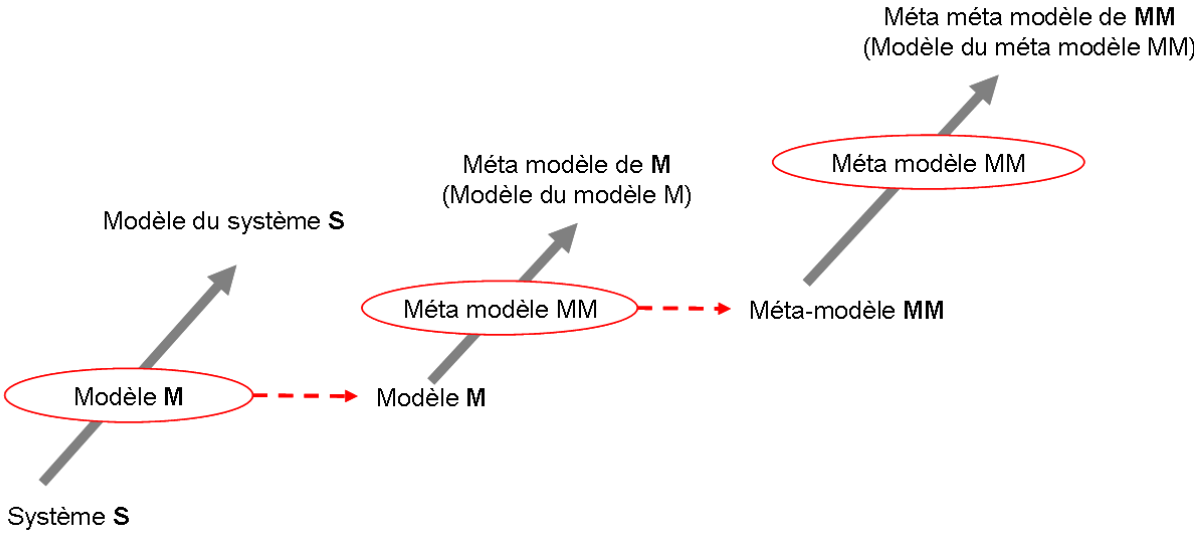


Figure 22. Niveaux de modélisation [OUSSALAH, 1997]

Le *méta méta modèle MM* va ainsi décrire les entités rencontrées dans le *Méta modèle M* et ce dernier va décrire les entités rencontrées dans *le Modèle M*.

Pour des raisons de lisibilité, et de compréhension la suite du document présente les différents métas modèles des langages de modélisation qui ont été choisis. Ces métas modèles sont exprimés en utilisant le langage UML [ROQUES *et al.*, 2007].

2.3 Vue fonctionnelle

2.3.1 Description

Cette vue permet de décrire la mission, les objectifs et la finalité du système [PENALVA, 1997]. Elle conduit le modeleur et les différents acteurs à définir les objectifs assignés au système de manière globale puis de plus en plus précise, en termes de performance, de stabilité et d'intégrité. Dans un premier temps, les objectifs sont décrits en partant d'un haut niveau d'abstraction correspondant à une vision stratégique, celle des gestionnaires. Dans un second temps, ces objectifs sont décomposés et raffinés en vue d'obtenir un ensemble hiérarchisé et ordonné plus concret.

Cette vue permet d'exprimer les exigences : elle traduit les besoins [FAISANDIER, 2005]. Elle doit ainsi répondre aux questions suivantes :

- pourquoi un système est voulu ? En se basant sur les conditions actuelles et futures d'utilisation.
- quelles doivent être les opérations internes ou externes ?
- quelles seront les caractéristiques du système qui satisferont son contexte ?
- sous quelles contraintes le système fonctionnera [ROSS et SCHOMAN, 1977] ?

L'approche intégrée dans ce cadre est dérivée de KAOS [VAN LAMSWEERDE, 2000]. KAOS est une méthode issue de l'ingénierie des exigences. Elle permet la construction d'un modèle rigoureux, comprenant les objectifs à atteindre, l'organisation et les processus à mettre en œuvre ainsi que les liens de traçabilité entre tous ces éléments. Cette méthode est habituellement utilisée dans le cadre du génie logiciel, néanmoins en prenant en compte la définition retenue du système et en adaptant les principes de KAOS à notre problématique, elle parait pertinente pour une description rigoureuse de l'aspect fonctionnel d'un système.

2.3.2 Langage de modélisation

2.3.2.1 Méta modèle

Le langage employé permet de raffiner un objectif. La Figure 23 présente le méta modèle du langage développé. Un objectif sera décomposé en sous objectifs et ainsi de suite jusqu'au niveau de granularité choisi. Ce niveau de granularité est arrêter avec les experts du domaine et dépend des objectifs que cherche à atteindre la modélisation.

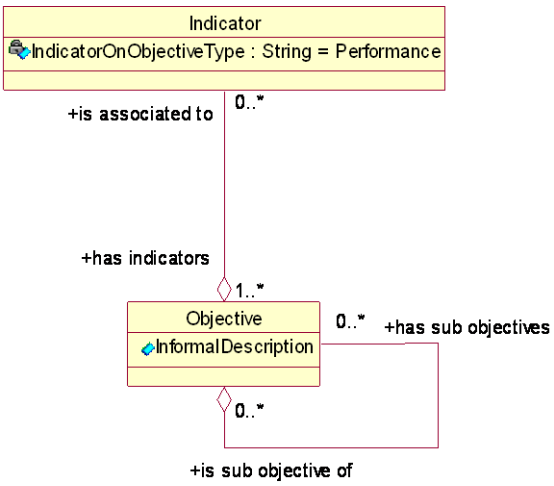


Figure 23. Meta modèle en UML du langage de décomposition des Objectifs

- La classe Objective représente le concept objectif, l'attribut *InformalDescription* permet de décrire en langage naturel l'objectif à atteindre.
- La classe Indicator représente un indicateur qui peut être associé à chacun des objectifs ou sous-objectifs du modèle. En se basant sur SAGACE, ces indicateurs peuvent être des indicateurs de Performance, de Stabilité ou d'Intégrité. Fixer les objectifs et identifier les indicateurs permet ainsi d'aider au pilotage (Chapitre I - 4.3) en mesurant l'efficacité des actions entreprises par rapport aux objectifs fixés.

2.3.2.2 Exemple de modèle

La Figure 24 est une représentation partielle d'un raffinement d'objectifs. Cet arbre a été construit en partant du manuel d'accréditation (version 2) de la Haute Autorité de Santé. Pour être accréditer chaque établissement de soin doit satisfaire une série de références elles-mêmes déclinées en sous références.

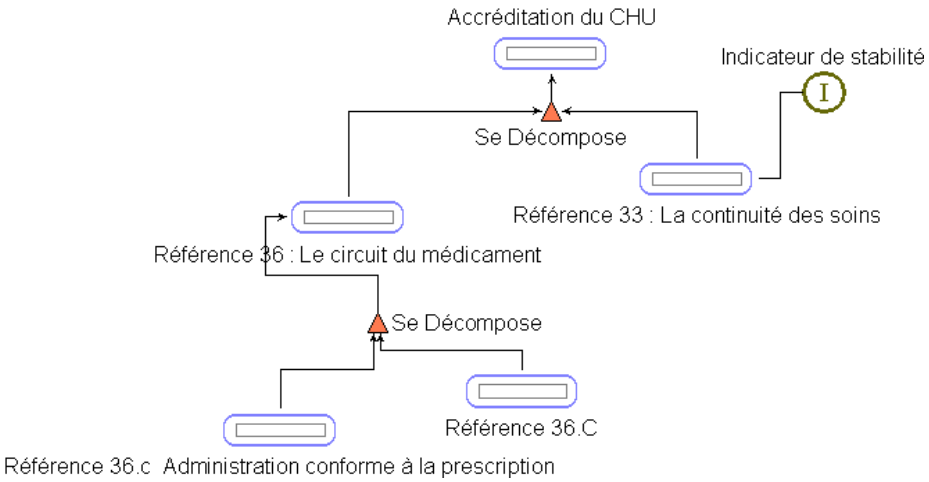


Figure 24. Modèle de décomposition des objectifs

2.4 Vue structurelle

2.4.1 Description

Cette vue a pour objectif de définir sans ambiguïté comment la mission sera réalisée, qui ou quoi sera impliqué et comment les ressources doivent s'organiser pour réaliser effectivement cette mission. Cette vue permet donc d'identifier trois points de vue distincts et complémentaires :

- Ressource : pour préciser les rôles, compétences et objectifs de ces ressources,
- Processus : pour identifier les processus, leur cartographie puis d'en préciser les activités qui les composent, les ressources qui y sont rattachées, les entrées et les sorties de ces activités et processus et les facteurs déclenchant d'une activité ou d'un processus,
- Organisation : pour identifier le ou les modes d'organisation (services, unités autonomes ou non, etc.) de ces ressources.

2.4.2 Le point de vue ressource

Les ressources occupent une place centrale au sein de la vue structurelle puisqu'elles permettent aux activités de s'exécuter et par la même aux processus de se réaliser. Communément, trois catégories de ressources sont à distinguer :

- les ressources matérielles,
- les ressources applicatives, qui sont représentées par les logiciels et matériels liés à l'informatique,
- les ressources humaines qui elles seules disposent de capacités cognitives.

Plus que dans le monde industriel les spécificités de l'environnement hospitalier font qu'il est impossible de réduire l'entité humaine à une ressource disponible ou non. Sa modélisation doit alors s'appuyer sur le concept de compétence. Au modèle "*Fordien*" traditionnel de qualification où les capacités individuelles sont identifiées par un titre et une ancienneté, sont venus s'adjoindre de nouveaux critères d'évaluation comme l'autonomie, la responsabilité ou le relationnel. Dans le domaine du Génie Industriel, la compétence est un concept multiforme qui est le plus souvent identifié comme étant la mise en œuvre combinée de savoirs (connaissances théoriques), savoir-faire (pratiques empiriquement maîtrisées), et de savoir être (attitudes et comportement relationnels et cognitifs) [HARZALLAH, 2000]. Elle se décline en compétences individuelles et collectives [HINDS *et al.*, 2000]. Néanmoins dans ce travail, suite aux échanges avec les professionnels, les compétences ont été abordée seulement au travers d'un aspect, celui de l'expérience, c'est-à-dire si la ressource humaine est assimilé à un « junior » ou un « senior ».

2.4.3 Le point de vue organisation

L'organisation lie les différentes ressources qui dès lors deviennent composant d'un tout évidemment hétérogène. On voit alors apparaître des *unités organisationnelles*. Une unité organisationnelle est un structure composée de ressources pouvant posséder des liens d'autorité ou de responsabilité de tout ou partie d'autres ressources, d'autres unités organisationnelles ou encore d'activités et de processus dans lesquels cette unité est impliquée. Elle définit donc un centre de prise et de suivi de décision à un niveau particulier de la hiérarchie décisionnelle d'un centre de santé (service, département, etc.).

2.4.4 Le point de vue processus

Un processus est « *un ensemble partiellement ordonné d'activités ou de sous-processus corrélés et interactifs qui transforment des éléments d'entrée en élément de sortie. Cela faisant, il répond à sa finalité (mission) dans un environnement donné. Il est soumis à des contraintes et consomme des ressources. Chaque processus est déclenché par l'occurrence d'au moins un événement* » [AFIS, 2007]. La Figure 25 illustre cette définition.

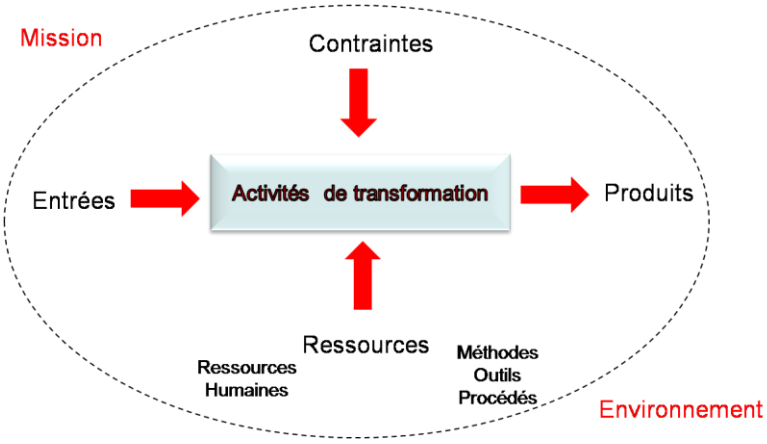


Figure 25. Schéma général d'un processus [AFIS, 2007]

- Les Flux d'entrées peuvent être de différentes natures. Il peut s'agir d'énergie, de matière ou d'information. Dans le cadre du milieu hospitalier, une des adaptations a été d'ajouter un nouveau type de flux qui est le patient.
- Une activité est une action de transformation d'une entrée en sortie. Cette transformation est réalisée à un moment et durant un temps déterminé et en utilisant un sous-ensemble de ressources. Il existe différents types d'activités classé par [MENZEL et MAYER, 1998] en (Make, Move, Verify, Store → Transformer, Déplacer, Contrôler, Stocker).

Dans la littérature qui traite du sujet, trois grandes familles de processus sont distinguées :

1. Les **processus métiers ou client** qui contribuent à la réalisation du produit ou du service. Ils représentent le savoir faire de l'entreprise. Les processus métiers regroupent toutes les activités dédiés au cycle de vie du produit ou service.
2. Les **processus supports** qui concernent les étapes et système dédiés aux ressources humaines (implication du personnel, formation et qualifications), et les ressources liées aux infrastructures. Leur fonction est de contribuer au bon fonctionnement des autres processus par l'apport de ressources nécessaires.
3. Les **processus de pilotage ou de management.** Ils représentent le système nerveux de l'entreprise. Ils participent à la détermination, à l'élaboration de la politique et au déploiement des objectifs dans l'organisme. Ils sont les fils conducteurs des processus opérationnels et de soutien. Ils les pilotent, les surveillent.

2.4.5 Langages de modélisation

Pour représenter cette vue, le choix s'est porté sur l'utilisation conjointe du langage UEML (Unified Entreprise Modelling Language) [VERNADAT, 2002a ; BERIO, 2006] et des eFFBD (Enhanced Functional Flow Block Diagram) [LONG, 2002]. Dans la suite, nous allons présenter ces deux langages ainsi que des exemples associés.

2.4.5.1 Le langage UEML

UEML est un langage unificateur qui favorise la transformation de modèles et facilite ainsi leur manipulation et leur analyse comme illustré dans [VALLESPIR *et al.*, 2003] notamment par l'emploi d'un méta modèle normalisé [VERNADAT, 2001 ; PANETTO, 2006] présenté dans la Figure 26.

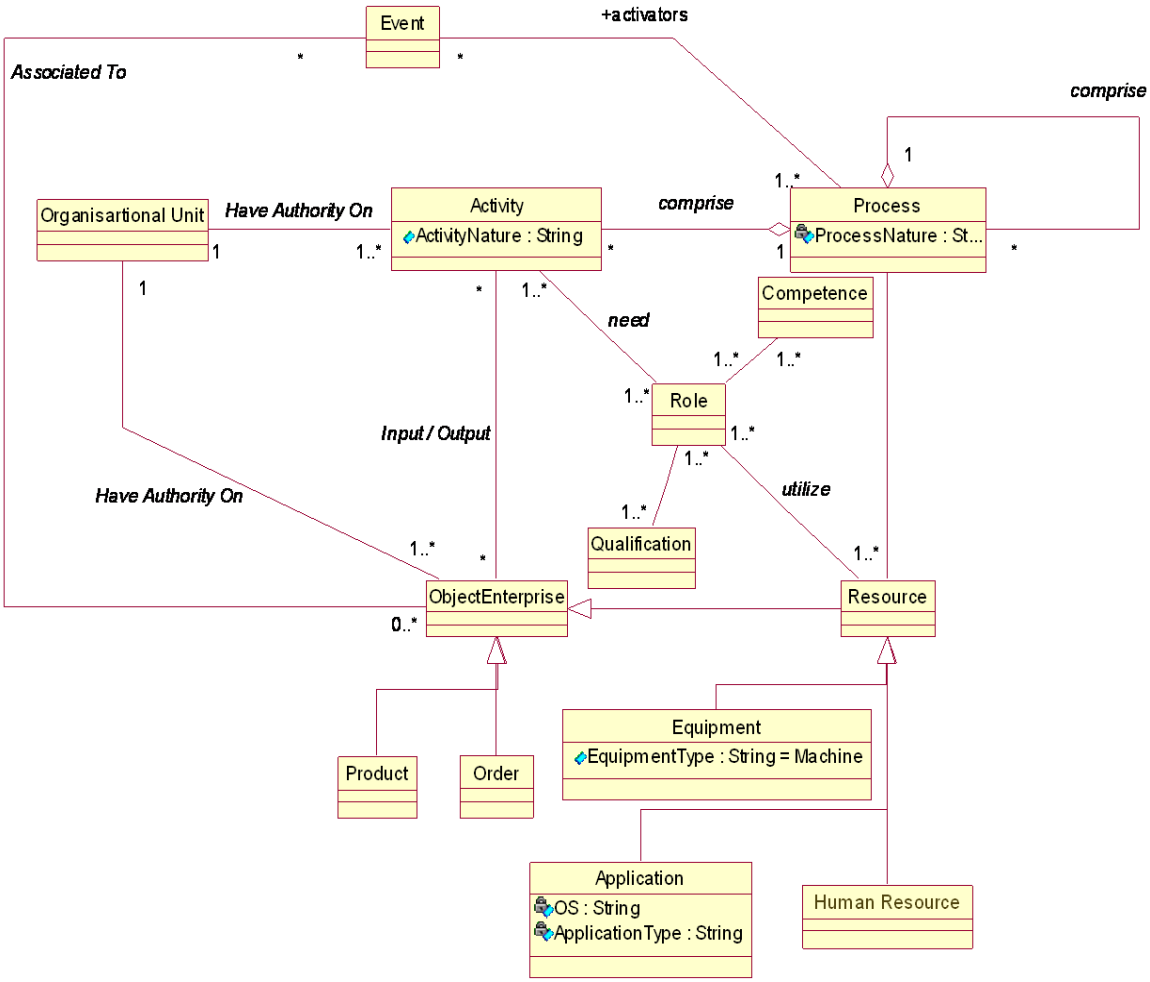


Figure 26. Eléments principaux de modélisation d'UEML [VERNADAT, 2001]

En ce qui concerne ce travail de recherche le langage UEML a été retenu pour la description de l'organisation. Le méta modèle développé et présenté dans la Figure 27 pour l'application est issue du méta modèle prédédent. Il est simplifié et seuls les éléments pertinents pour notre problématique ont été retenus.

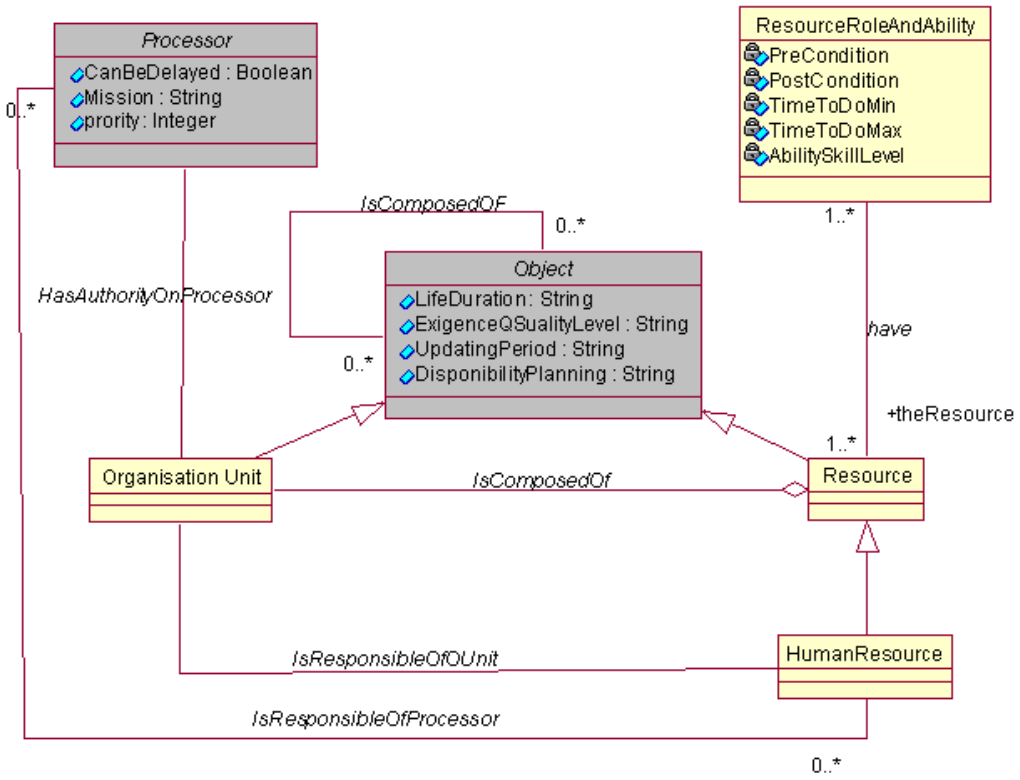


Figure 27.Méta modèle en UML du langage UEML

- La classe *ResourceRoleAndAbility* a pour objectif de décrire le rôle d'une ressource ainsi que ses compétences.

- La classe *Processor* : un processeur est définit par [CHAPURLAT, 2007] comme tout point où un flux est changé (modification dans le repère Temps-Espace-Forme). Il est pris ici au sens d'une activité, d'un processus, d'un système ou d'un sous-système pouvant à son tour être décrit, décomposé en d'autres éléments de même nature ou de nature différente. Selon SAGACE [PENALVA, 1997], il existe deux types de relations entre deux processeurs :
    - Le couplage (flux complexes) exprime un changement de nature de la liaison (un événement de sortie d'un processeur devient une entrée d'un autre processeur ou une contrainte par exemple).
    - La transaction (de matière, d'énergie ou d'information) relie deux processeurs sans transformation.

- La classe *OrganisationUnit* décrit les unités organisationnelles.

La Figure 28 est un modèle fait avec l'outil de modélisation GME en UEML. C'est le modèle de l'Unité Organisationnelle Pharmacie qui se compose comme suit :

- Un pharmacien qui est responsable :
    1. d'une ressource matérielle : hotte pour réaliser les chimiothérapies,
    2. d'une ressource applicative : logiciel représentant le Vidal,
    3. d'une ressource humaine : un surveillant, qui est lui-même responsable de 3 préparateurs.

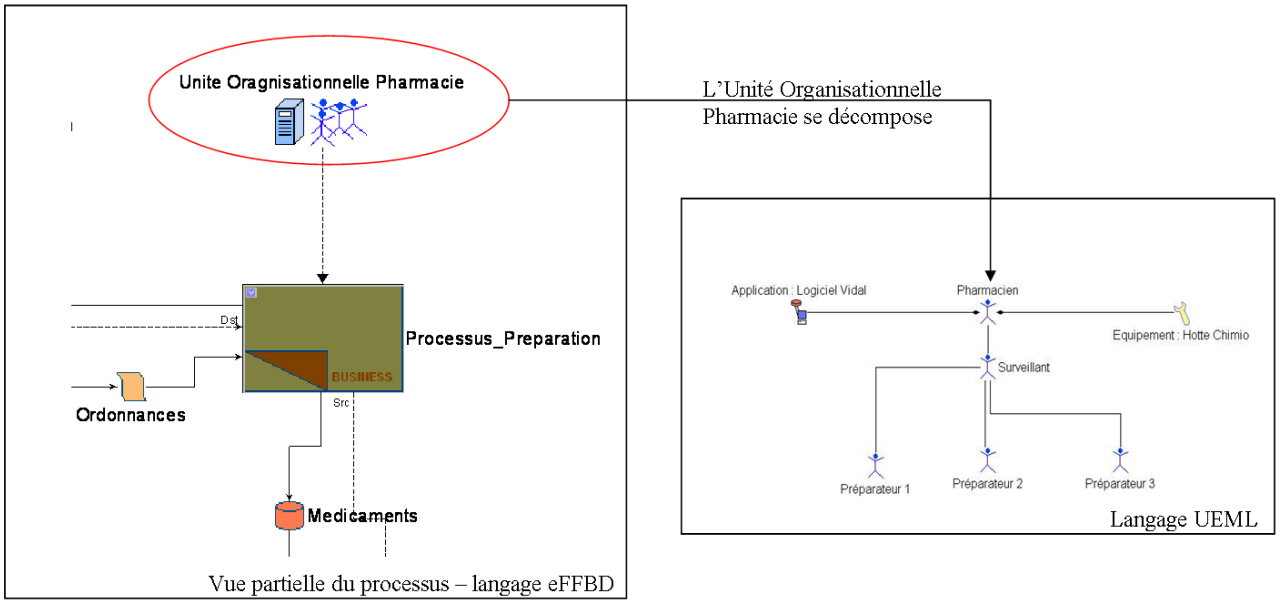


Figure 28. Unité Organisationnelle Pharmacie

2.4.5.2 Le langage eFFBD

Les eFFBD autorisent la description fonctionnelle et dynamique des processus. Il permet d'indiquer la structure et la séquence de déroulement des processus ou activité comme présenter dans [PABADIS, 2006]. Ce langage peut ainsi être utilisé pour décrire l'aspect « statique » du processus mais également son aspect « dynamique ». La Figure 29 présente le méta modèle de ce langage.

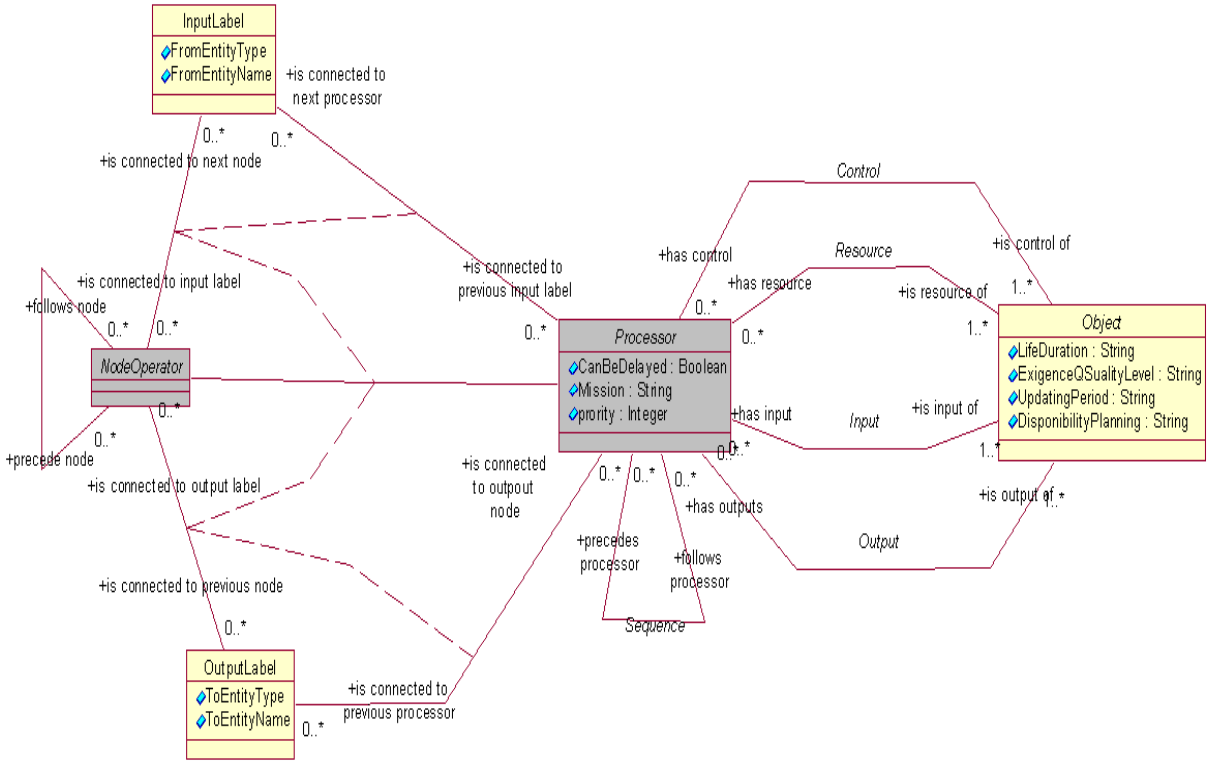


Figure 29. Meta modèle UML du langage eFFBD

- La classe *Object* : Tout objet « processé » par l'environnement, le système ou ses processus [CHAPURLAT, 2007].
- La classe *NodeOperator* : opérateur qui permet de décrire les liens entre les entités :

- InputLabel : permet de décrire les entrées, avec le sens du lien.
- *OutputLabel* : permet de décrire les sorties, avec le sens du lien.

Un exemple de l'utilisation du langage eFFBD pour décrire des processus est présenté dans la Figure 30 . Cette figure illustre deux processus avec leur séquence d'exécution :

- Le processus Métier de l'unité organisationnelle Pharmacie qui est la délivrance de médicament, dans ce cas, c'est le processus source qui s'exécute en premier. Ce processus Métier se décompose en 2 deux activités réalisées par des ressources de l'unité oragnisationnelle Pharmacie.
- Le processus Support : Logistique qui est sous la responsabilité de l'unité organisationnelle Logistique. Ce processus concerne la livraison des médicaments aux différentes unités de soins.

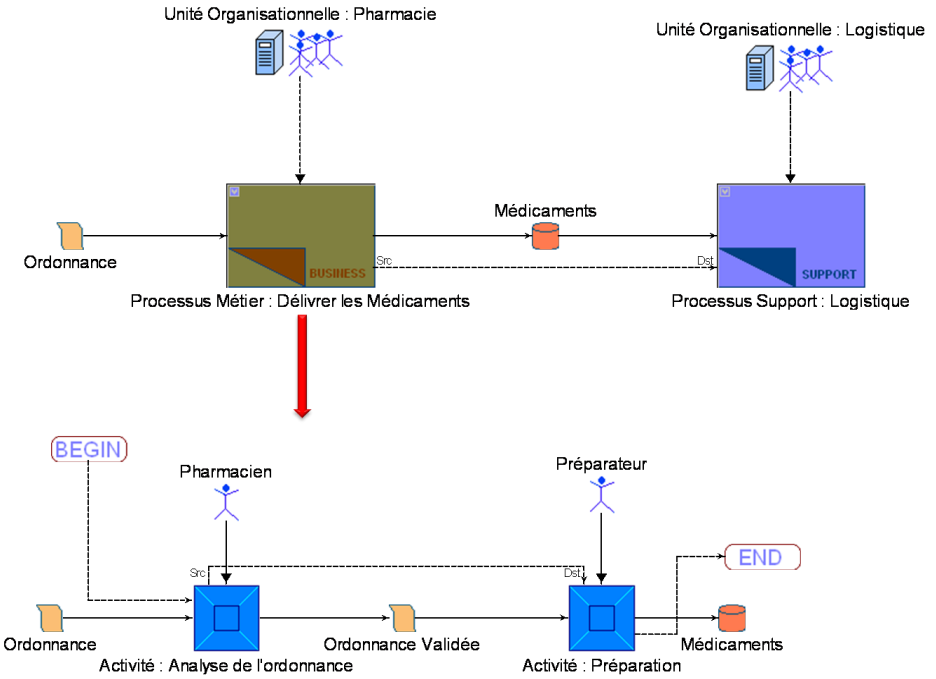


Figure 30. Point de vue Processus (langage eFFBD)

2.5 Vue comportementale

2.5.1 Description

Suivant la définition donnée par [PENALVA, 1997], la vue comportementale décrit le « *mode d'action d'un système vis-à-vis de son environnement : comment et par quel processus et dans quelles conditions le système réalise sa mission* ».
La vue comportementale représente la dynamique du système qui se définit au travers d'un certain nombre de scénarios opérationnels dans lesquels le système est amené à évoluer. Le système possède aussi différentes configurations pour autoriser la réalisation de ces scénarios. Enfin, il est nécessaire de décrire le comportement de chacun des objets composant le système tels que ses ressources, ses processus ou ses unités organisationnelles.

2.5.2 Le point de vue configuration

Une configuration est un ensemble de dispositifs, défini par rapport à un objectif particulier du système en relation avec l'environnement [PENALVA, 1997]. Décrire une configuration reviens à décrire les ressources disponibles dans le système à un instant *t* pour accomplir sa mission. En effet, toutes les ressources ne sont pas continuellement disponibles, citons par exemple les équipes de travail (2x8, 3x8, jour, nuit, jours fériés), les temps de repos des ressources humaines et les temps

de maintenances des machines. Par conséquent tous les scénarios ne sont pas réalisables, la disponibilité d'une ressource autorise donc la réalisation ou non d'un scénario.

2.5.3 Le point de vue scénarios

S'appuyant sur SAGACE, le point de vue scénarios exprime les modes de comportement du système et leurs enchaînements selon des scénarios prédéterminés. Un mode de comportement correspond à un état considéré comme stable et pertinent vis-à-vis de la mission du système. Les scénarios vont décrire le déroulement programmé ou prévu des différentes activités d'un processus. Dans la suite de ce travail, les scénarios sont vus comme des instances de processus décrit dans le point de vue processus. En effet, la vue structurelle va représenter le processus et la vue comportementale son déroulement effectif suivant la configuration du système.

2.5.4 Langages de modélisation

Les scénarios sont des instances de processus issues de la vue structurelle. Pour rester cohérent, le langage eFFBD est utilisé.

La vue comportementale doit déterminer les règles d'évolution des scénarios et des configurations au cours du temps. Ce comportement se présente alors sous la forme de descriptions abstraites, hiérarchiques et réutilisables d'évolutions des objets scénario et configuration qui tirent partie de la puissance d'expression des Statecharts introduits par Harel [HAREL, 1987]. En effet, les Statecharts décrivent les changements d'état d'un objet en réponse à des événements. La Figure 31 décrit le méta modèle des Statecharts utilisé.

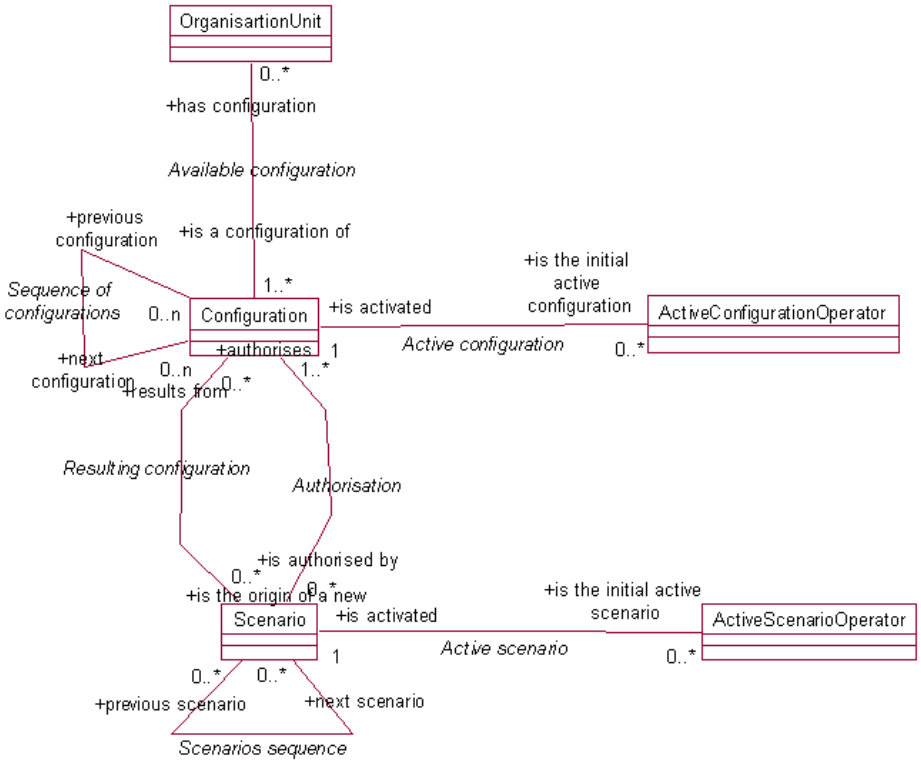


Figure 31. Méta modèle en UML des Statechart pour les Configurations et les Scénarios

Les relations entre les différentes classes sont décrites comme suit :

- Une unité organisationnelle possède une ou plusieurs configurations.
- Une configuration autorise un ou plusieurs scénarios. Les configurations et les scénarios se présentent sous la forme de séquences avec des transitions pour passer de l'un à l'autre. La

Figure 32 décrit un exemple de représentation des configurations et des scénarios et se décompose comme suit :

- la configuration et le scénario actifs, c'est-à-dire ceux qui sont utilisés au moment de la modélisation
- les différents scénarios avec l'ordre de passage d'un scénario à un autre,
- les différentes configurations avec l'ordre de passage d'une configuration à une autre,
- les configurations autorisant tel ou tel scénario

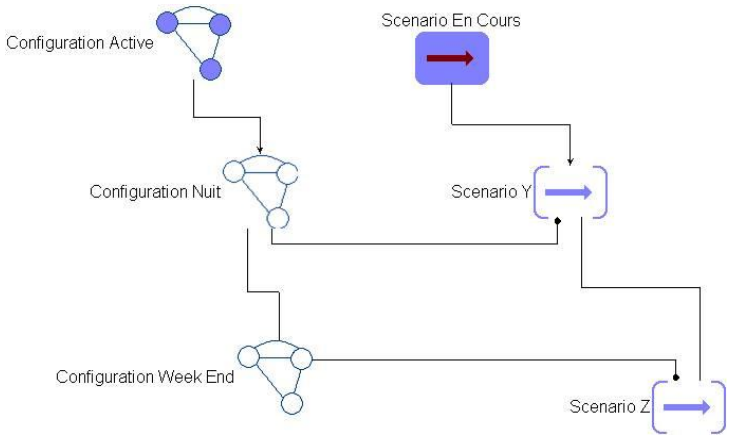


Figure 32. Transition entre scénario et configuration

De même, le comportement des objets composant le système est décrit au moyen d'un Statechart permettant de décrire les états successifs, éventuellement en utilisant des niveaux de détail permis par ce langage de modélisation (décomposition d'un état en sous-état) dont le méta modèle est donné Figure 33.

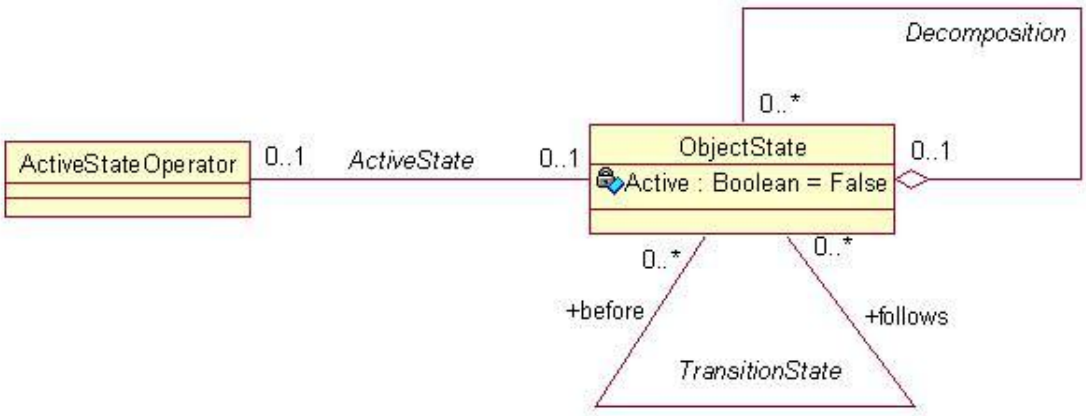


Figure 33. Méta modèle Statecharts pour décrire les états d'une ressource

Où :

- La relation *TransitionState* permet de hiérarchiser les états d'un objet en précisant les états prédécesseurs et successeurs.
- La classe ActiveStateOperator : permet d'identifier l'état actuel
- La classe ObjectState représente l'état d'un objet. L'état d'un objet peut se décomposer. L'attribut *Active* est un booléen qui permet d'affirmer si l'état actuel est actif ou pas. Par exemple, les états possibles d'une ressource sont illustrés dans la Figure 34 qui reprend le modèle d'activité proposé par [RODDE, 1991]. Ce modèle met en avant cinq états considérés comme suffisants pour explorer le comportement d'une ressource.

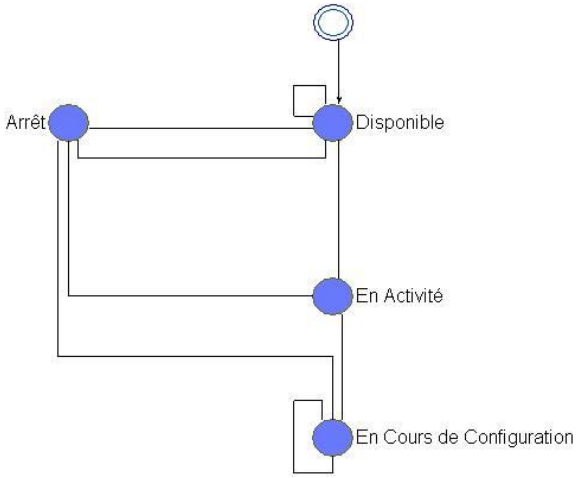


Figure 34. Etats possibles d'une ressource

Ces états sont :

- Attente : la ressource arrive mais n'est pas encore disponible.
- Disponible : la ressource est à son poste ou à sa position par défaut et prête à être affectée.
- Arrêt : la ressource est arrêtée soit en raison d'un événement interne propre soit à un événement indépendant de cette ressource.
- En activité : la ressource est impliquée dans une activité et affectée à son exécution.
- En cours de configuration : une ressource peut être appelée à se configurer ou à se reconfigurer en cours d'exécution pour parer au plus pressé et participer à une activité revêtant un caractère prioritaire.

2.6 Vue propriétés : enrichissement et analyse de modèle

2.6.1 Description

Cette vue vise à atteindre un double objectif. D'une part, elle permet de rassembler en les formalisant sous forme de propriétés, tout un ensemble de connaissances supplémentaires permettant :

- De décrire des exigences et des contraintes propres à certains types de système ou à certains types de modèles. Ces propriétés seront ensuite prouvées dans le modèle concerné pour, d'une part, vérifier le modèle, d'autre part, le valider partiellement c'est à dire estimer la pertinence du modèle vis-à-vis du système modélisé. La vérification consiste à assurer que le modèle construit ne comporte pas d'erreurs de manipulation du langage de modélisation, d'ambiguïtés dues à une utilisation inadéquate d'un type de concept ou de relation et de valider la cohérence entre les vues et niveaux de détail du modèle.
- De décrire des situations ou événements pouvant engendrer des risques dans le système. Ces propriétés seront à leur tour prouvées sur le modèle vérifié, et dans la mesure du possible validées, du système, pour s'assurer ou se rassurer à nouveau sur la possibilité d'occurrence d'un risque.

D'autre part, cette vue permet de compléter la connaissance que l'on a du système, déjà décrite au moyen des langages de modélisation employés dans les autres vues, et en particulier elle permet d'enrichir le modèle du système en apportant des informations sur le risque.

L'hypothèse retenue est qu'un système est confronté à des risques s'il ne respecte pas certaines propriétés. Ainsi des actions correctives peuvent être menées pour que ces propriétés soient respectées. Or ces actions doivent être défendues et argumentées, il est donc important de pouvoir s'appuyer sur des modèles formels, dont la rigueur peut être prouvée de manière formelle. Ainsi, [LAMINE, 2001] a proposé les bases d'un langage formel de représentation des propriétés d'un modèle ou d'un système baptisé LUSP (Langage Unifiée de Spécification de Propriétés). C'est ce langage qui est étendu ici au domaine du risque.

2.6.2 LUSP pour le risque

De manière générale, les objectifs du langage LUSP sont les suivants :

- Spécifier, formaliser et réutiliser des propriétés décrivant des exigences fonctionnelles et non fonctionnelles que le système, son environnement ou son modèle doivent normalement vérifier,
- Assurer un niveau suffisant de généricité et/ou de spécificité dans la description des propriétés pour permettre leur réutilisation,
- S'abstraire des différents langages de modélisation qui sont employés dans chacune des vues pour s'assurer de l'indépendance entre la propriété et un formalisme de représentation quelconque.
- Intégrer des mécanismes de preuve. Dans le cas qui nous intéresse, les graphes conceptuels, décrits dans la partie Analyse, ont été mis en œuvre comme proposé dans [KAMSU-FOGUEM, 2004].
- Interfacer, si nécessaire afin de compléter la couverture de vérification proposée en utilisant les graphes conceptuels, des outils de preuve formelle (theorem prover / model checker) et de simulation. Dans le cadre de ce document, cette dernière attente n'est pas prise en compte.

Ce travail de recherche a donc consisté à adapter et à étendre une version générique de LUSP vers une version dédiée à l'analyse de modèle multi vues, hiérarchisés et multi langage de modélisation pour la maîtrise du risque.

La suite de ce document décrit dans un premier temps la nature même d'une propriété puis, dans un second temps présente la formalisation issue de ce travail, ainsi que le référentiel de propriétés qui est proposé avec des exemples de modélisation de propriétés liées aux risques. La dernière partie précisera le mode de preuve qui a été choisi et mis en œuvre, à savoir les Graphes Conceptuels.

2.6.2.1 Propriétés

Une propriété traduit une exigence qui doit être respectée par un objet du monde. Pour être manipulable, ce concept est formalisé en se basant sur le modèle de propriété CRED proposé par [LAMINE, 2001]. Ce modèle de propriété est définit informellement (une description plus formelle est fournie en Annexe F) comme suit :

$$P = < C, R, E, D >$$

Où :

- C = Cause : Etat des objets du monde, dont une représentation existe nécessairement dans le modèle, qui exprime la condition ou l'hypothèse sous laquelle un certain nombre d'effets doivent être obtenus.
- E = Effet : Etat des objets résultant de la propriété. L'Effet décrit donc la conclusion à laquelle la condition ou prémisse décrite dans la Cause permet d'arriver.
- R = Relation : Lien entre la Cause et l'Effet. Cette relation permet de décrire des contraintes temporelles ou a-temporelles sous laquelle la Cause doit engendrer l'Effet.

- D = Niveau de Détail. Il permet de fixer le niveau d'abstraction utilisé durant la modélisation du système et qui est concerné par cette propriété. De fait, cette propriété n'aura de signification ou d'intérêt que pour ce niveau de détail. Nous considèrerons dans la suite que la granularité G est l'ensemble totalement ordonné mais non unique a priori de tous les niveaux de détail D. Chaque granularité est donc caractérisée par un type unique pouvant être spatial ou temporel. La Figure 35 montre deux exemples de granularité. Une granularité G est munie :
  - D'une loi Min, d'une loi Max et d'une loi + permettant de formaliser la relation d'ordre total entre les degrés d'une même granularité
  - D'un opérateur de composition **O** entre les granularités tel que $G_1 \mathbf{O} G_2 = G_3$

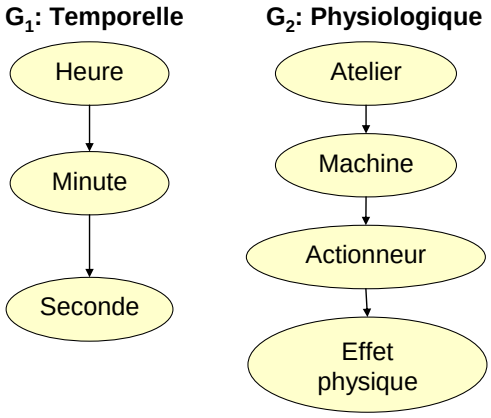


Figure 35. Exemples de granularités typées

2.6.2.2 Exemple

La Figure 36 dévoile comment sont traduites les propriétés dans le cadre de référence, d'abord en langage naturel puis en utilisant le modèle CRED [CHAPURLAT *et al.*, 2006 ; ALOUI *et al.*, 2007].

Ce tableau illustre le DSC3 Culture de non communication. En utilisant le langage LUSP la propriété $P_{Mission}$ spécifie que les constituants du système ont toujours des objectifs. Elle peut être décomposée en P1 pour les processus, P2 pour les ressources, P3 pour activités, P4 pour les sous-systèmes. Dans le cadre de référence retenue, les objectifs sont modélisés en utilisant des graphes de décomposition d'objectif (nous partons d'un objectif de haut niveau qui sera raffiné par la suite).

Propriété 1			
Un processus a toujours des objectifs clairement définis. Dans le cadre de modélisation choisie, les objectifs se présentent sous la forme d'un modèle d'objectifs			
Cause	**Relation de causalité**	**Effet**	**Niveau de détail**
Processus P de type métier, support ou de management	Implication logique	∃ Un modèle d'objectif	Points de vue de modélisation
$P1 = (\forall A \in System.\text{Pr}ocessus), [nature(A) = Type.Bu\,\text{sin}\,ess\,\text{Pr}ocessus]$ $\Rightarrow$ $[\exists M \in System.Model, (nature(M) = Type.ModelObjectif]$			

Figure 36. Traduction de propriété du langage naturel vers LUSP

2.6.2.3 Référentiel de propriétés général

Manipuler et prouver des propriétés est un acte relativement difficile, long et pouvant induire des erreurs nombreuses. Afin d'éviter toute perte de temps dans la recherche et la spécification des propriétés, un référentiel de propriétés à été créé.

Le référentiel est une base de connaissances décrites sous forme de propriétés qui permettent de répondre aux besoins de vérification, de validation partielle et de recherche ou de détection de situations à risques.

Ces connaissances sont exprimées sous une forme générique afin d'aider le groupe d'utilisateurs modeleurs du système à sélectionner, à spécifier ou à paramétrer des propriétés et/ou des caractéristiques intéressantes qu'ils souhaitent mettre en avant. A ce titre, le référentiel de propriétés est une sorte de pense-bête que l'utilisateur devra interroger et respecter afin de produire ses propres spécifications.

Le fait d'utiliser le modèle CRED permet enfin d'assurer l'homogénéité et l'unicité de la représentation. Du fait de leur généricité, ces propriétés ne peuvent donc pas être prouvées directement sur le modèle du système. Elles doivent donc être :

- *instanciées* : une nouvelle propriété est créée directement à partir de la propriété générique et est paramétrée en identifiant dans le modèle les faits qui constituent ses causes et ses effets,
- *interprétées* : une propriété est alors créée en interprétant le sens et la finalité de la propriété générique dans le contexte et l'environnement du système considéré. En effet, la propriété générique relève d'un niveau d'un haut niveau et nécessite une interprétation suivant la vue et le niveau de détail.

Afin de simplifier le travail des utilisateurs, les propriétés se décomposent en trois catégories :

- **Axiomatique** : propriétés qui caractérisent des faits immuables liés soit au système, soit à son environnement. Ces propriétés étant par nature des axiomes de connaissance, elles n'ont pas à être prouvées mais peuvent servir à élaborer des propriétés plus complexes. Elles représentent donc l'invariant de connaissances que l'utilisateur pourra utiliser pour bâtir la vue propriétés. Elles sont essentiellement inspirées par les lois de la nature, les normes et standards utilisés et les lois de la systémique.
- **Système** : propriété qui décrit les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles d'un système sociotechnique. Elle traduit :
    - des exigences de performance, stabilité et intégrité du système comme des contraintes auxquelles il doit répondre : déploiement, géographiques, architecturales, de fonctionnement, de sûreté de fonctionnement, de confidentialité, de maintenabilité, environnementales, de volumétrie, de disponibilité ou encore d'accessibilité,
    - de la structure (composition et constituants),
    - des comportements (comportements propres des composants, interactions entre les composants et entre le système et son environnement).
- **Modèle** : propriété qui décrit les conditions de validité de la construction d'un modèle, c'est-à-dire des règles d'usage d'un langage de modélisation donné pour en obtenir une instance, soit un modèle. Ces propriétés :
    - caractérisent la structure et le comportement d'un modèle à des fins d'analyse pour prouver d'autres propriétés.
    - caractérisent ce que l'utilisateur souhaite établir dans le modèle : vivacité, complétude, cohérence, parallélisme, synchronisation, séquence, bornage, cycle, propriétés temporelles ou autres.

Repositionnée dans le cadre de référence choisi dans ce travail, les tableaux qui suivent donnent des exemples de chacune de ces propriétés sous forme de langage naturel. Il s'agit donc ici de propriétés devant être interprétées pour pouvoir fournir une spécification.

Cadre de référence		Propriétés Systèmes
Fonction	Mission	▪ Tout processeur satisfait à une mission
Structure	Processus & activités	▪ La réalisation d'une activité s'effectue à l'aide de ressources (humaines ou technologiques - matérielles ou applicatives) et dans le cadre d'objectifs et de contraintes clairement identifiées ▪ Une activité doit avoir un type (de mesure, de transformation ou de décision)
	Organisation & Ressources	▪ Une activité nécessitant la présence et l'action d'une ressource humaine nécessite des profils (de compétences, de connaissances, de savoir-faire et de savoir être) de la part de cette (ces) ressource(s) humaine(s) ▪ Séquence d'activités : les ressources matérielles utilisées dans deux Etapes successives E1 et E2 ayant pour objectif la transformation dans le temps ou la forme d'un même flux d'objets doivent être soit identiques ou suffisamment proches sur le plan géographique pour ne pas nécessiter de transport (transformation dans l'espace) ▪ Toute ressource humaine possède des attributs spécifiant sa capacité, ses compétences, ses devoirs et ses vouloirs
Comportement	Scénarios	▪ Il doit exister un scénario qui permette de revenir à l'état de production en cas d'une panne, d'un défaut, d'un dysfonctionnement divers
	Configuration	▪ Si une activité requiert une compétence alors au moins une des ressources doit posséder cette compétence

Tableau 6. Référentiel partiel de propriétés système

Cadre de référence		Propriétés Modèles
Structure	Processus & activités	▪ Chaque activité doit posséder au moins un flux d'entrée et un flux de sortie ▪ Une activité peut se décomposer sous forme d'activités primitives (c'est à dire de tâches ou d'opérations de bas niveau) ▪ Une activité primitive (tâche ou opération) ne peut être décomposée
	Organisation & Ressources	▪ Les activités primitives qui sont le résultat d'une décomposition d'une activité peuvent être partiellement ordonnées ▪ Une ressource (matérielle ou humaine) intervenant dans une activité doit être disponible et apte à remplir sa tâche ou l'opération qui lui est dévolue
Comportement	Scénarios	▪ Une activité ou un processus ne peuvent avoir d'occurrence que lorsque leur contrainte d'entrée est vérifiée ou lorsque une occurrence de l'événement déclencheur survient
	Configurations	▪ L'état initial d'un modèle de comportement est l'état actif à l'instant initial noté T0. Un modèle de comportement doit avoir un état initial

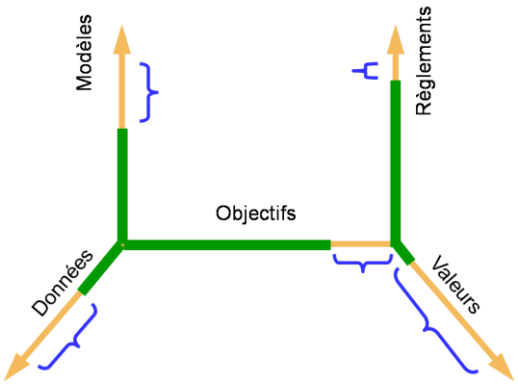
Tableau 7. Référentiel partiel de propriétés modèle

Cadre de référence		Propriétés Axiomatiques
Fonction	Mission	▪ Respect des normes en matière d'effet sur l'environnement
Structure	Processus & activités	▪ Calcul de durée : o durée(activité)=endof(activité)-beginof(activité) o endof(activité)>beginof(activité)
	Organisation & Ressources	▪ L'activité d'une ressource humaine est encadrée sur le plan législatif (temps de travail) ▪ Une ressource matérielle nécessité un cycle de maintenance
Comportement	Scénarios	▪ Il existe des scénarios d'urgence ou de crise
	Configurations	▪ Il existe une configuration qui permette à des ressources supplémentaires d'être mises à disposition en cas d'urgence ou de crise

Tableau 8. Référentiel partiel de propriétés axiomatiques

2.6.2.4 Intégration des propriétés pour le risque dans le référentiel

Le risque est nécessairement présent dans chacune des vues qui seront manipulées par les utilisateurs. Le référentiel des propriétés inclut donc des propriétés qui décrivent les différents Déficits Systémiques Cindynogènes (DSC). Un déficit est une ambiguïté et/ou incohérence au niveau d'un des axes de l'hyperespace du danger.



Il peut être lié à:

- L'absence d'un espace
- Une lacune au sein d'un espace
- Une disjonction entre 2 espaces
- Une absence d'ordre dans un espace

Figure 37. Déficits Systémiques Cindynogènes

Dans la suite, nous considérons les trois grands types de déficits présentés dans le chapitre II. Ces déficit ont été identifiés de manière empirique suite à des enquêtes post accident [KERVERN, 1995 ; NICOLLET, 1999]. Ils seront traduits sous forme de propriétés puis intégrées dans le référentiel de propriétés.

DSC d'origine culturelle - Vulnérabilité liée à la culture des réseaux d'acteurs se décompose comme suit :

- DSC1 : culture de simplisme
- DSC2 : culture d'infaillibilité
- DSC3 : culture de non communication
- DSC4 : culture nombriliste

Le DSC3 peut ainsi se modéliser sous forme de propriétés génériques, ici présentées sous leur forme en langue naturelle, comme présenté dans Tableau 9.

Cadre de référence		DSC3 : Culture de non communication
Fonction	Mission	▪ Clarté de la ou des missions de chaque partie du système, ressource, UO, etc. par leur membres et leur environnement ▪ Objectif (clarté, connus de tous, partagés sans ambiguïté)
Structure	Processus & activités	▪ E/S de type information d'une activité doit être générée et/ou utilisée par une autre activité o qualité de l'information constante. Elle est compréhensible et décrite en respectant les normes et procédures en vigueur o information doit être caractérisée par une durée de vie (période au bout de laquelle elle peut être remise en cause) ▪ cloisonnement o activités indépendantes et non pilotées o processus supports mal ou peu pris en compte, prévenus, anticipés
	Organisation & Ressource	▪ cloisonnement o Physique : Géographie du site ou par service o Métier : par catégorie socio professionnelle ▪ Disponibilité & Compétence o pour écrire l'information, en prendre connaissance ou la diffuser
Comportement	Scénarios	▪ Conditions de passage d'un scénario au suivant formalisées, établies, répertoriées et connues
	Configurations	▪ Conditions de passage d'une configuration à une autre formalisées, établies, répertoriées et connues

Tableau 9. Référentiel partiel de propriétés DSC 3

DSC organisationnels - Vulnérabilité liée à l'organisation des réseaux d'acteurs se décompose comme suit :

- DSC 5 : Subordination des fonctions de gestion du risque aux fonctions de production ou à d'autres fonctions de gestion créatrices de risques.
- DSC 6 : Dilution des responsabilités. Non explication des taches de gestion des risques. Non affectation des taches à des responsables désignés.

Cadre de référence		DSC organisationnel
Fonction	Mission	▪ Le gestionnaire du risque est indépendant
Structure	Processus & activités	▪ Chaque processus a un responsable clairement désigné
	Organisation & Ressources	▪ Les ressources humaines ont des responsabilités clairement définies ▪ Les ressources matérielles ont un responsable ▪ Les unités organisationnelles ont autorité sur une activité, un processus ou un service.
Comportement	Scénarios	▪ La transition entre scénario se fait sous l'autorité d'un responsable
	Configurations	▪ La transition entre configuration est clairement explicitée

Tableau 10. Référentiel partiel de propriétés DSC organisationnels

DSC managériaux - Vulnérabilité liée aux décisionnaires se décompose comme suit :

- DSC 7 : Absence d'un système de retour d'expérience.
- DSC 8 : Absence d'une méthode Cindynique dans l'organisation.
- DSC 9 : Absence d'un programme de formation aux cindyniques adapté à chaque catégorie de personnel.
- DSC 10 : Absence de planification des situations de crise. Cadre de référence

Cadre de référence		**DSC managériaux**
Structure	Processus & activités	▪ Il n'y a pas de processus de formation, de démarche d'amélioration continue.
	Organisation & Ressources	▪ Absence de formation du personnel
Comportement	Scénarios	▪ Absence de scénario de gestion de crise
	Configurations	▪ Absence de configuration de gestion de crise

Tableau 11. Référentiel partiel de propriétés DSC managériaux

3 Du modèle à l'analyse : l'interopérabilité

Avant d'aborder les principes d'analyse, il est nécessaire de préciser un certain nombre de points cruciaux sur le résultat de la phase de modélisation telle qu'elle peut être menée au moyen des principes décrits auparavant.

Par définition, l'IS est une approche qui privilégie l'interdisciplinarité. En effet, de nombreuses connaissances (de natures et de types variés, donc hétérogènes) sont utilisées. Ces connaissances proviennent d'acteurs issus de cultures différentes. Cette hétérogénéité va poser un certain nombre de difficultés :

- La première consiste à permettre à chaque acteur d'exprimer et d'échanger avec les autres selon son niveau de compréhension et de compétence pour lever toute dissonance. Il est ainsi nécessaire de se comprendre pour ne pas introduire d'ambiguïté ou de biais dans la modélisation.
- La seconde réside dans le modèle lui-même ou plutôt dans sa complexité qui est liée à sa construction. En effet, le cadre de modélisation choisi est :
    - Multi langages : on y manipule des concepts et des objets de modélisation très différents ou possédants des sémantiques différentes selon la vue dans laquelle nous nous trouvons. Se posent alors des problèmes d'ambiguïté de sens et de compréhension limitant l'intérêt ou la pertinence des modèles. Il faut tenter d'unifier ces différentes sémantiques vers une sémantique unique et reconnue par tous les acteurs de la phase de modélisation.
    - Multi vues : chaque vue peut être ensuite décomposée en point de vue qui donnent lieu à différents modèles. Il faut s'assurer que ces vues sont elles mêmes cohérentes les unes par rapport aux autres en tenant compte par exemple de leur proximité dans le cadre de référence et de règles normatives.
    - Hiérarchisé : pour chaque vue, il existe une ou plusieurs granularités ou ensemble de niveaux de détail dont il faut asseoir la cohérence.

Ces difficultés sont ainsi liée à l'interopérabilité qui se définit comme "*the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged*" [IEEE, 1990]. Il est donc nécessaire de se munir d'un certain nombre de mécanismes pour couvrir ces différents besoins qui sont, d'une part, dus à l'interopérabilité des acteurs et, d'autre part, dus à l'interopérabilité des modèles.

3.1 L'interopérabilité des acteurs : unification par une ontologie

Il est nécessaire de prendre en compte la culture, les connaissances spécifiques à chacun des domaines et chacun des acteurs. Les différentes visions propres à chaque service créent une culture, une façon de travailler spécifique dont la compréhension peut être difficile pour les autres métiers. Comme l'indique [HEES, 2000] «*Le développement de métiers spécialisés entraîne chaque groupe professionnel à vouloir affirmer son identité professionnelle et à la faire reconnaître par les autres professionnels en construisant "sa" conception de la maladie, en développant "son" jargon pour en parler et en se donnant, du patient "sa" vision : une vision correspondant à son mode d'intervention et cohérente avec sa propre identité. Et que dire alors du patient. Ceux qui ont vécu, en tant que patients, une expérience d'hospitalisation savent qu'il convient de "changer de forme et de manière" selon le type de service et le type d'expert auxquels on a affaire. Le polymorphisme du patient est le contrepoint de la pluralité des regards spécialisés dont il fait l'objet*». Notre objectif n'est pas d'arriver à un consensus général en normalisant le vocabulaire du domaine hospitalier

mais de représenter une réalité partagée entre les différents groupes d'acteurs présents lors de la phase de modélisation. Il faut que tous se mettent d'accord sur les connaissances professionnelles présente dans le modèle et ainsi mieux appréhender les questions et les décisions qui seront prises au sein du groupe de travail. Cette volonté de réelle communication exige la mise en place d'un modèle commun du système et d'un référentiel commun [SCHOLTES, 2001]. Pour mettre en place ce référentiel commun nous allons utiliser les ontologies. La définition donnée par [USCHOLD et GRUNINGER, 1996] « *an ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization* » implique qu'une ontologie est le résultat d'un consensus entre les personnes qui l'ont construite. Une ontologie va être liée à un rôle ou à une catégorie d'acteurs.

Le langage utilisé est normalisé, c'est le Web Ontology Language (OWL) [ALLEMANG *et al.*, 2005] qui est une extension XML basée sur RDF. La Figure 38 donne un exemple de construction d'une ontologie.

Figure 38. Représentation graphique partielle de l'ontologie (logiciel Protégé)

3.2 Interopérabilité des modèles

3.2.1 Description

Lors de la description de la phase de modélisation, nous avons établi que pour chaque langage de modélisation un méta modèle a été développé. Ces métas modèles vont être utilisés pour faciliter l'interopérabilité des modèles. Selon [OUSSALAH, 1997] la méta modélisation concerne plusieurs domaines et a divers usages. Il a ainsi classé trois grandes catégories de travaux :

1 La méta modélisation comme technique de réflexivité : elle permet à un modèle de s'auto représenter.
2 La méta modélisation comme technique de dialogue. Elle permet d'expliquer ou de documenter un modèle, tel qu'utilisé dans GME [GME, 2006]. Elle peut également être utilisée comme moyen de comparaison des différentes approches [BEZIVIN, 1995]
3 La méta modélisation comme technique d'ingénierie.

En ce qui nous concerne la méta-modélisation est utilisée comme technique d'ingénierie et va être un moyen de formalisation des modèles semi formels et d'uniformisation des modèles. En effet, le modeleur, pour représenter le système, devra manipuler différents langages de modélisation. Or d'après [VALLESPIR *et al.*, 2003], l'hétérogénéité des modèles, même s'ils ont des bases conceptuelles proches voire communes, fait ressurgir un manque d'interopérabilité. Il faut donc intégrer et rendre interopérable ces différents langages de modélisation dans un cadre unique de modélisation système, afin de préserver une cohérence entre les différentes vues utilisées. Pour cela il est proposé d'utiliser l'approche MDA : Model Driven Architecture [BEZIVIN *et al.*, 2001 ; OMG, 2003] .

3.2.2 Mise en œuvre de l'approche MDA

Cette approche adoptée par l'OMG (Object Management Group) en 2001, vise à promouvoir l'utilisation de modèles et leurs transformations pour concevoir et implémenter différents systèmes. Elle permet de mettre en avant de bonnes pratiques de modélisation afin de préciser comment, quand, quoi et pourquoi modéliser et ainsi exploiter pleinement les avantages des modèles. Elle s'appuie sur une architecture à quatre niveaux, du plus général au plus spécifique : le niveau CIM (Computation Independant Model) modélise une organisation et représente les modèles d'exigence, le niveau PIM (Platform Independant Model) modélise le sous-ensemble de l'organisation faisant l'objet d'une informatisation (modèles d'analyse et de conception), le niveau PSM (Platform Specific Model) prend en compte les spécificités liées à la plateforme de développement [OMG, 2003]. Le dernier niveau est celui des applications d'entreprise (ESA : Enterprise Software Application) tel que les progiciels de gestion intégrés. Dans ce travail l'intérêt se portera sur les trois premiers niveaux.

L'approche MDA a été créée pour séparer les contraintes fonctionnelles des contraintes techniques. En effet, les parties métiers sont séparées de leur mise en œuvre d'un point de vue informatique. Son principe réside dans le fait qu'à partir d'un modèle de niveau supérieur un modèle de niveau inférieur peut être générer tel que présenté dans Figure 39. Cette architecture est basée sur des technologies et standards de l'OMG et est neutre par rapport aux langages. Ainsi, les langages de modélisation présentés précédemment sont interopérables.

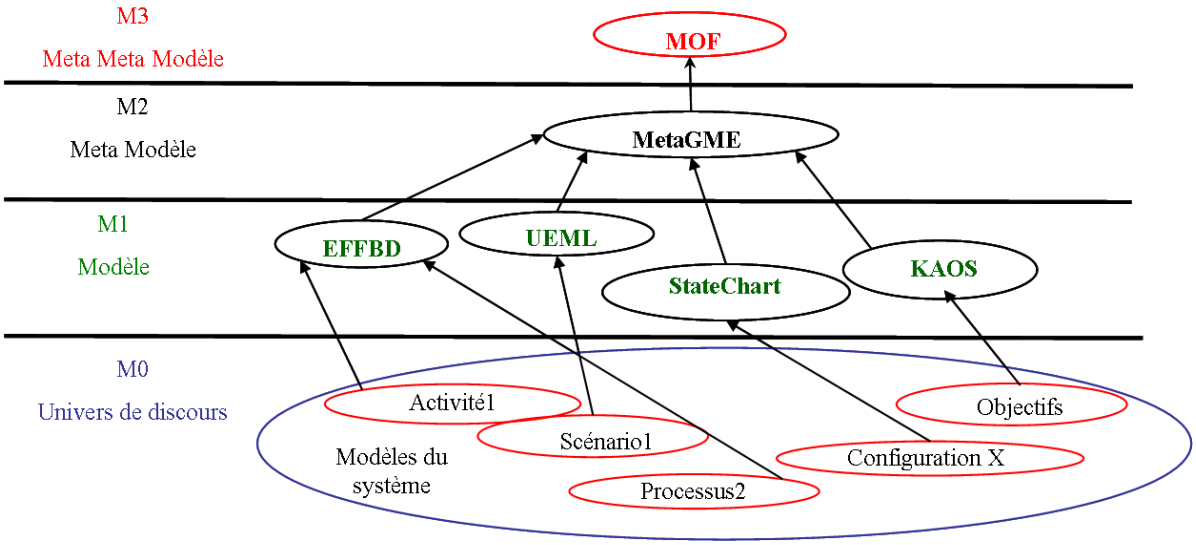


Figure 39. Approche MDA utilisée dans GME

- Le niveau M3 : Le MOF Meta-Object Facility appelé aussi méta méta modèle, est un langage unique de définition des métas modèles qui correspond aux fonctionnalités universelles de modélisation logicielle

- Le niveau M2 MetaGME est un méta modèle propre à GME, basé sur le standard UML. Il permet de visualiser, développer et manipuler les concepts et les relations. Il possède un formalisme de représentation graphique de diagramme.
- Le niveau M1 méta modèle des langages de modélisation retenue pour la représentation des différentes vues et points de vue du cadre de modélisation.
- Le niveau M0 : modèle du système. Description des ressources, processus, configuration, etc.

3.3 Conclusion

La modélisation du système sociotechnique complexe est basée sur le paradigme systémique, et est enrichie par le concept de propriété. Le système est ainsi représenté par des vues de modélisation (fonctionnelle, structurelle, comportementale et propriétés), qui sont détaillées en point de vue comme proposé par la matrice SAGACE. Le résultat est une série de modèles interconnectés, qu'il est nécessaire de rendre interopérable. Ces modèles ont un objectif double:

1. rendre le système plus compréhensible en réduisant la complexité de représentation
2. servir d'outil de raisonnement, dans le cas présent maîtriser les risques.

Dans la première partie de ce chapitre, pour répondre au premier objectif nous avons :

- développer un cadre de modélisation qui permette d'appréhender le système avec différents point de vue de modélisation,
- sélectionner pour chaque point de vue un langage approprié,
- travailler sur la notion d'interopérabilité entre les modèles et les langages de modélisation.

Suite à cette phase de modélisation et pour répondre au second objectif, nous partons de l'hypothèse que la présence ou non d'une propriété, sa véracité ou non entraîne une réflexion de la part du modeleur sur le risque. En partant de cette hypothèse, la seconde partie de ce chapitre va présenter l'analyse de modèles par preuve de propriété. Dans le point qui suit les principes et la formalisation de l'analyse, ainsi que les méthodes et techniques utilisées vont être vont être présentées.

4 Analyse des modèles : principes et formalisation

4.1 Introduction

L'analyse doit couvrir plusieurs besoins :

- Le premier besoin est de vérifier et de valider, même partiellement, si les modèles obtenus (à l'intérieur de chaque vue et entre les vues) sont cohérents et complets du point de vue de l'usage qui va en être fait. Cela permet de relever des erreurs de modélisation, de lever des ambiguïtés, de compléter les modèles et d'améliorer leur richesse de détail si nécessaire. Les acteurs de l'étape de modélisation peuvent ainsi objectivement conférer aux modèles un niveau de confiance suffisant et reconnu. Cette phase repose sur une technique de preuve formelle de propriétés [ACCELERA, 2004] telle que proposées dans [CHAPURLAT *et al.*, 2003 ; KAMSU-FOGUEM, 2004]. Les propriétés prouvées ici sont essentiellement des propriétés système et modèle.
- Le deuxième besoin concerne ensuite la détection et l'analyse des causes et des effets de risques donnés. Pour cela, la même technique de preuve que celle appliquée pour la vérification est mise en œuvre mais sur la base de propriétés traduisant les risques existants, encourus ou issus d'un Déficit Systémique Cindynogène.
- de respecter un certain niveau de formalisation pour pouvoir faire de la preuve, en gardant à l'esprit les notions de multi vues et de multi langages de modélisation,
- d'aller vers une automatisation de l'analyse pour permettre l'exhaustivité, la répétabilité et la traçabilité du raisonnement même par des non experts du domaine. La phase de modélisation nécessite beaucoup de temps pour recueillir les informations concernant le système, automatiser l'analyse permettrait de gagner à la fois du temps et de l'indépendance vis-à-vis des compétences limitées a priori des modeleurs en termes d'analyse formelle.

Comme présenté dans [KAMSU-FOGUEM, 2004], il est nécessaire de trouver un compromis entre une vérification complètement formelle, et donc exhaustive, et une vérification ad hoc qui s'autorise une certaine latitude dans la rigueur de la preuve. Ainsi, il faut déterminer des mécanismes d'analyse suffisants pour avoir *le bon modèle* du *bon système* et qui réponde à la problématique de détection des risques. Il s'agit là d'un problème de **vérification**, de **validation** et **d'investigation** au sens de SAGACE [PENALVA, 1997]. Pour répondre à ces besoins et dans la continuité des travaux menés au sein du LGI2P, nous proposons une approche de raisonnement basée sur la preuve avec l'utilisation des Graphes Conceptuels (GC) [SOWA, 1984 ; CHAPURLAT *et al.*, 2003 ; KAMSU-FOGUEM, 2004 ; KAMSU-FOGUEM et CHAPURLAT, 2006]. Dans ce qui suit, les Graphes Conceptuels puis la réécriture de modèles et les mécanismes de preuve vont être présentés. Enfin, un exemple illustrant l'ensemble de la démarche sera décrit.

4.2 Graphes conceptuels : présentation et principes

4.2.1 Définition

Les Graphes Conceptuels sont définis à l'origine par [SOWA, 1984] comme un type de réseau sémantique. Un réseau sémantique est un système de représentation graphique des connaissances basé sur des nœuds interconnectés par des arcs. Il prend donc la forme d'un graphe. Les graphes conceptuels sont ainsi un langage de représentation des connaissances muni d'une sémantique logique.

Un graphe conceptuel noté B nécessite la définition d'un support noté *S* formé de deux treillis qui définissent respectivement les concepts (Treillis des concepts illustrés Figure 40) manipulables représentant des entités du monde et les relations binaires et orientées (Treillis des relations illustré Figure 41) entre ces entités. B est donc un graphe bipartite constitué d'une alternance d'instances ou de représentants de concepts et de relation.

Un treillis est défini comme un ensemble ordonné dans lequel chaque couple d'éléments admet une borne supérieure et une borne inférieure. Dans le treillis des concepts, T est le plus grand élément et représente le concept universel et ⊥ est le plus petit élément et représente le concept absurde.

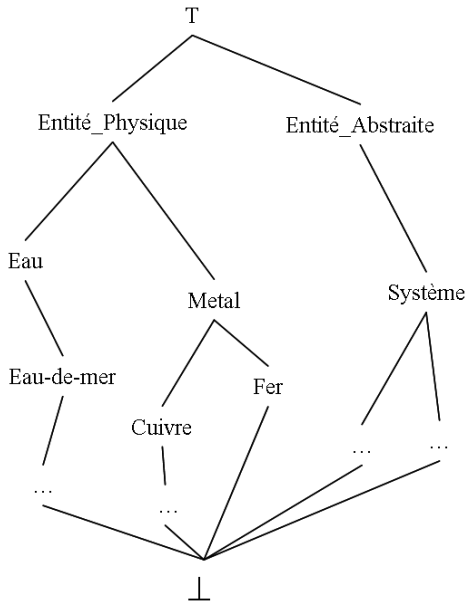


Figure 40. Exemple d'un treillis de concepts (aspect générique - Support *S*)

Dans le treillis des relations, T2 est défini comme étant la relation binaire universelle. Chaque relation est caractérisée par un concept source et un concept destinataire.

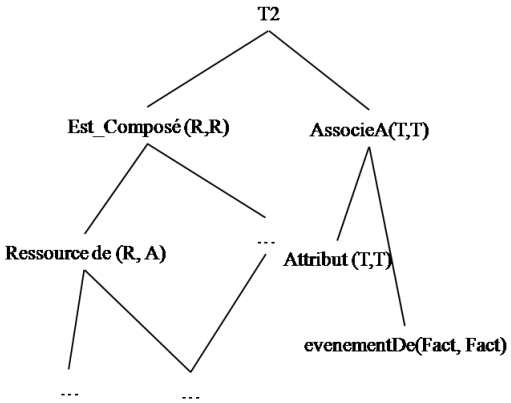


Figure 41. Exemple d'un treillis de relations (aspect générique - Support *S*) extrait de [CHAPURLAT, 2007]

Notons que d'un point de vue algébrique, un treillis est définit comme un ensemble E muni de deux lois internes habituellement notées $\wedge$ et $\vee$ vérifiant :

- les deux lois sont commutatives et associatives
- pour tout a de E, $a \vee a = a$ et $a \wedge a = a$ (idempotence)
- pour tout a et b de E: $a \wedge (a \vee b) = a$ et $a \vee (a \wedge b)$ (absorption)

Ainsi, chaque treillis possède ces différentes propriétés, ce qui permet de définir des opérations décrites plus loin, rendant possible la vérification de propriétés.

Les treillis contiennent ainsi les éléments axiomatiques de la connaissance que l'on peut manipuler sur un domaine donné, hiérarchiquement ordonnés.

L'instanciation de ces éléments permet ainsi d'obtenir un Graphe Conceptuel (GC) comme présenté dans sa forme graphique dans la Figure 42. Les sommets concepts et relations sont représentés respectivement par des rectangles et des ovales. Ils sont reliés entre eux par des arêtes orientées du concept source de la relation vers le concept destination. Un concept peut référencer un représentant particulier. Par exemple, dans cette figure, le concept système possède un représentant décrit par le marqueur 'S1'.

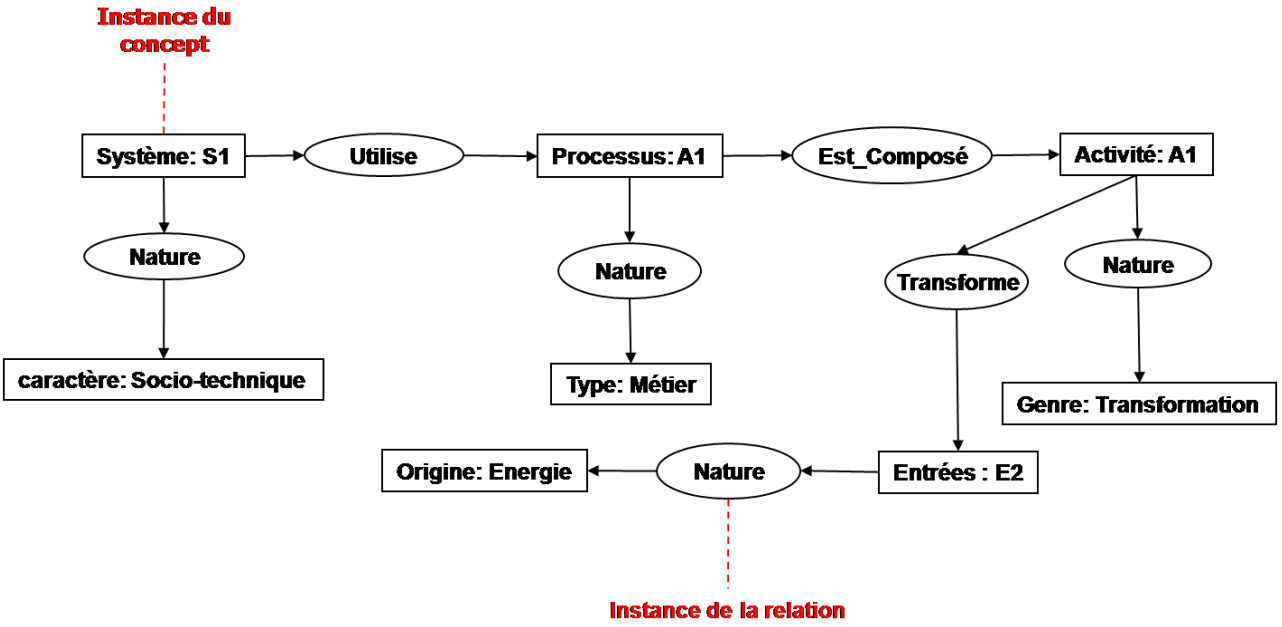


Figure 42. Exemple d'un graphe conceptuel (Les faits instances de S)

Plus formellement, un graphe conceptuel simple, défini un support *S*, est noté $G = (R, C, U, étiq)$ où :

- R et C sont les deux classes de sommets de G, appelés respectivement sommets relations et sommets concepts, avec $C \neq \emptyset$ (un graphe conceptuel peut donc être constitué d'un seul sommet concept).
- U est l'ensemble des arêtes de G. Pour chaque sommet relation $r \in R$, l'ensemble des arêtes adjacentes est totalement ordonné et numéroté de 1 jusqu'au degré de r (arité du type de son étiquette)
- étiq est une application, qui associe à chaque sommet :
  - Si $r \in R$ alors $étiq(r) = type(r) \in T_R$

- Si $c \in C$, alors $étiq(c) = (type(c), marqueur(c))$ avec $type(c) \in T_C$ et $marqueur(c) \in I \cup \{*\}$.

4.2.2 Exemple de GC simples

La phrase « *Le pharmacien Rémy prépare un médicament (chimio) dans la pharmacie Archet II* » peut être représentée sous la forme d'un graphe conceptuel (Figure 43). Pour cela, les treillis de concepts et de relations sont donnés dans les Figure 44 et Figure 45.

Figure 43. GC Simple

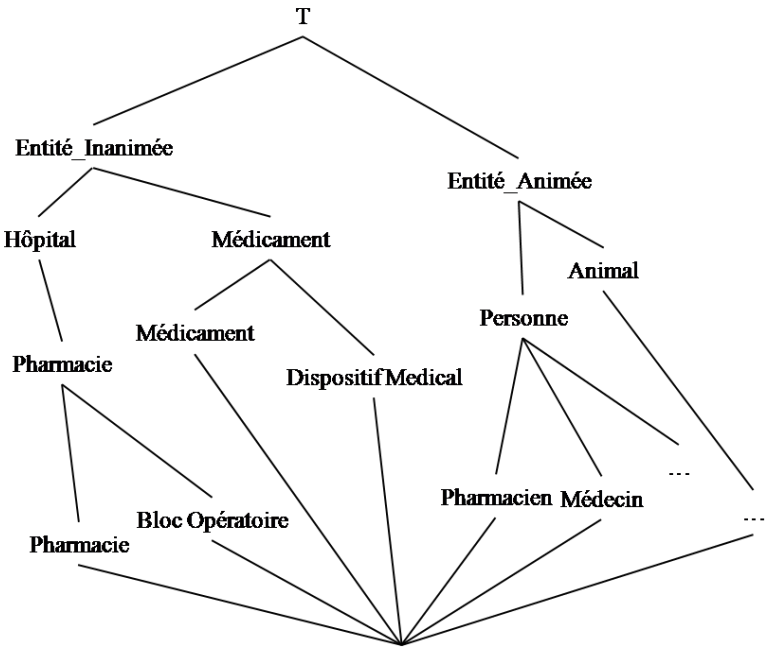


Figure 44. Treillis de concepts correspondant à la Figure 43

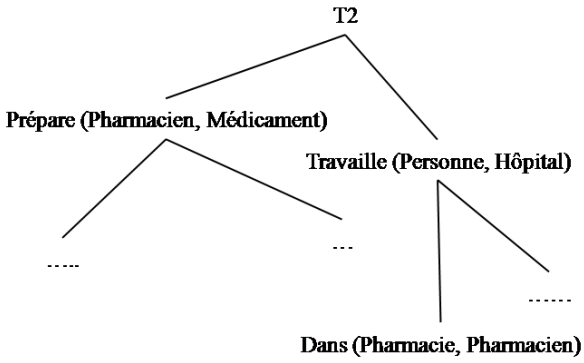


Figure 45. Treillis de relations correspondant à la Figure 43

4.2.3 Opérations sur les graphes conceptuels

4.2.3.1 Présentation

Le processus de vérification est composé d'un ensemble d'opérations sur les graphes conceptuels. Ces opérations élémentaires permettent de manipuler des GC et de dériver canoniquement vers d'autres graphes. Les GC sont ainsi utilisés comme un langage opérationnel.

Le principe de ce processus repose donc sur l'idée de se servir du langage comme d'une notation formelle disposant d'opérations conservant les propriétés de consistance et de complétude vis à vis de la logique des prédicats du premier ordre. Cela permet de doter ce formalisme d'une « sémantique » formelle. La plateforme logicielle *CoGITant* [GENEST, 2003 ; COGITANT, 2005] relève de cette approche et a été mise en œuvre dans ce travail.

Ces opérations sont les suivantes : la projection et la contrainte.

4.2.3.2 Projection

Le but de la projection est de rechercher une information, un motif dans le graphe modèle et de vérifier ainsi la présence dans ce graphe d'un sous graphe représentant la propriété modèle. En effet la projection consiste à localiser dans un graphe conceptuel un sous-graphe donné ; ainsi elle permet le filtrage sur un ensemble de graphes conceptuels, d'où l'appellation : *opérateur de recherche d'information*. Par exemple si au cours de l'analyse nous souhaitons répondre à la question « est ce que la propriété représentée par le graphe H est présente dans le graphe G ? ». Cet *opérateur de recherche d'information* nous permet de répondre en recherchant les projections possibles de H dans G (Figure 46).

D'un point de vue mathématique, la projection se définit ainsi :

Une projection d'un graphe $H = (R, C, U, étiq)$ dans un $G = (R', C', U', étiq')$ est un couple d'applications $\prod = (f, g)$, avec $f : R \to R'$ et $g : C \to C'$, tel que :

- $\forall r \in R, type(f(r)) \leq_r type(r)$;
- $\forall c \in C, type(g(c)) \leq_c type(c)$ et soit $marqueur(g(c)) = marqueur(c)$, soit $marqueur(c) = *$;
- $\forall r, c \in U$, $f(r)g(c) \in U'$, avec, si $c = H_i(r)$, alors $g(c) = G_i(f(r))$;

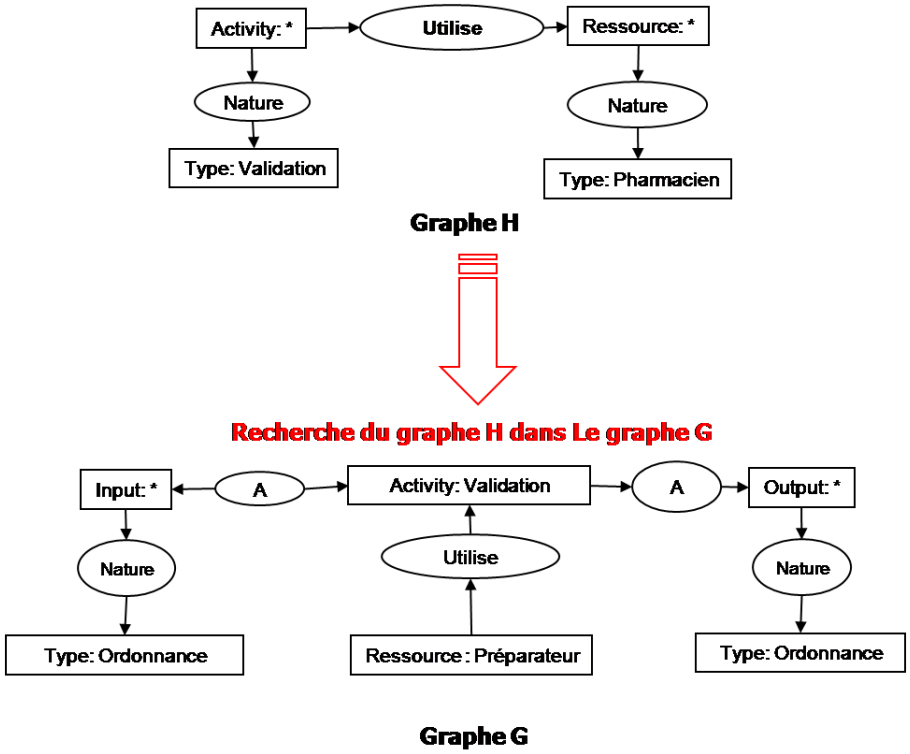


Figure 46. Exemple de projection

Dans cet exemple il s'agit de vérifier si le graphe H qui peut se traduire par *est-ce que les activités de type Validation sont réalisées par des ressources de type pharmaciens ?* est présent dans le graphe G qui de manière partielle, représente le traitement d'une ordonnance.

De manière générale, la projection est l'opération fondamentale du raisonnement sur les graphes conceptuels. Cette recherche d'information peut être vue comme la recherche de l'inclusion de l'information représentée par H dans G. Il s'agit donc d'un calcul de spécialisation entre deux graphes. Cette équivalence entre la relation de spécialisation et la projection est prouvée dans [CHEIN M. et MUGNIER M-L, 1992] :

Théorème. $G \leq H$ *si et seulement si, il existe une projection de H dans G.*

La projection est aussi l'opération de base des raisonnements mis en œuvre dans ces travaux.

4.2.3.3 Contrainte

Dans le modèle de base des graphes conceptuels, le raisonnement est limité à la démonstration de la vérité de propriétés positives. Cependant il est parfois nécessaire de démontrer la vérité ou la fausseté de graphe ou de morceaux de graphe pour prouver l'exécutabilité ou la non-exécutabilité des actions. C'est dans cette perspective que [BAGET, 2001] a étendu le modèle de base des graphes conceptuels en définissant des contraintes qui permettent notamment la prise en compte d'une forme de négation.

Il s'agit ici d'utiliser des graphes pour porter un jugement sur la validité d'autres graphes (Figure 47). De cette manière, les contraintes servent à effectuer la vérification de la validité d'une base de faits assertée par des graphes. Une contrainte est composée d'une partie *conditionnelle* et d'une partie *obligatoire*. La partie conditionnelle est un graphe simple qui peut être vide. Deux types de contraintes sont ainsi utilisables :

- les **contraintes positives**, qui peuvent s'exprimer de la manière suivant : *si une information A est présente, alors l'information B est présente*
- les **contraintes négatives** qui peuvent s'exprimer de la manière suivant : *si une information A est présente, alors l'information B est absente*

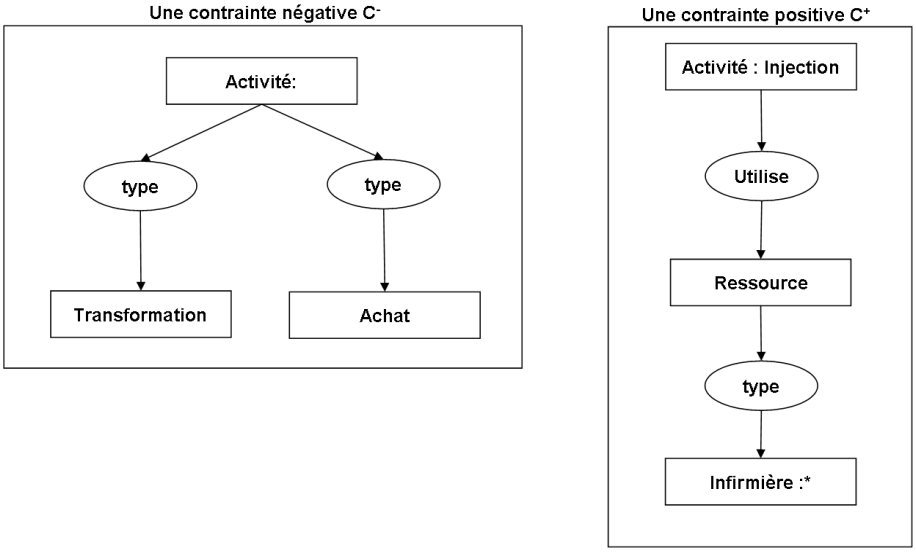


Figure 47. Exemples de contraintes

La figure précédente représente deux contraintes, une négative C^- qui peut s'exprimer par *« pour toute activité les types transformation et achat sont incompatible »* et une contrainte positive C^+, qui s'exprime par *« toute activité de type injection doit utiliser une ressource du type infirmière »*.

4.3 Conclusion

Un graphe conceptuel est donc un langage formel de représentation de connaissances qui possède plusieurs atouts. Il permet d'abord de représenter de manière graphique, aisée à manipuler, rigoureuse et lisible, la connaissance sous la forme de graphes alternant des nœuds représentant les

concepts et de liens représentant les relations utilisées dans les langages de modélisation visés. De plus, il repose sur des fondements mathématiques aboutis tels que les mécanismes formels de projection, les principes de règles et de contraintes permettent de s'assurer de la véracité ou plus simplement de la présence d'une connaissance donnée dans un graphe. Dans la suite de ce document, nous allons présenter la façon dont :

- ce langage formel va servir de langage pivot afin de pouvoir disposer, par réécriture de modèle, de la représentation de la totalité du système dans un système de modèle unique et homogène et,
- ces opérations de manipulation peuvent permettre de raisonner pour prouver la véracité ou non d'une propriété.

4.4 Réécriture de modèles

4.4.1 Principes

Une fois le modèle global du système bâti, lui-même étant composé de plusieurs modèles correspondant aux points de vue, la première phase d'analyse va consister à vérifier sa cohérence globale. En effet, le modèle du système se présente sous la forme de connaissances décrites au moyen de plusieurs langages de modélisation. Pour les problèmes d'interopérabilité évoqués plus haut, cette profusion de langages, même si elle est nécessaire à la construction d'une représentation, ne permet pas d'effectuer la vérification. Il est donc nécessaire de lever cette difficulté. La solution retenue est de transformer les modèles obtenus en un seul et unique modèle comme proposé dans [CHAPURLAT *et al.*, 2006].

Pour [OMG, 2003 ; ALLILAIRE *et al.*, 2006], définir une transformation d'un modèle à l'autre, consiste tout d'abord à définir un *mapping* (une projection) [ISO/TS 18876-1, 2003] entre les métas modèles auxquels chacun des modèles doit être conforme. Le mapping est la spécification de la transformation entre un modèle source et un modèle cible. Les métas modèles au niveau M2 de l'OMG sont exprimés avec un langage de métamodélisation défini lui-même par un méta méta modèle au niveau M3. La Figure 48 décrit le modèle utilisé dans notre cas et présenté pour d'autres langages dans [ALLILAIRE *et al.*, 2006 ; GRANGEL *et al.*, 2007].

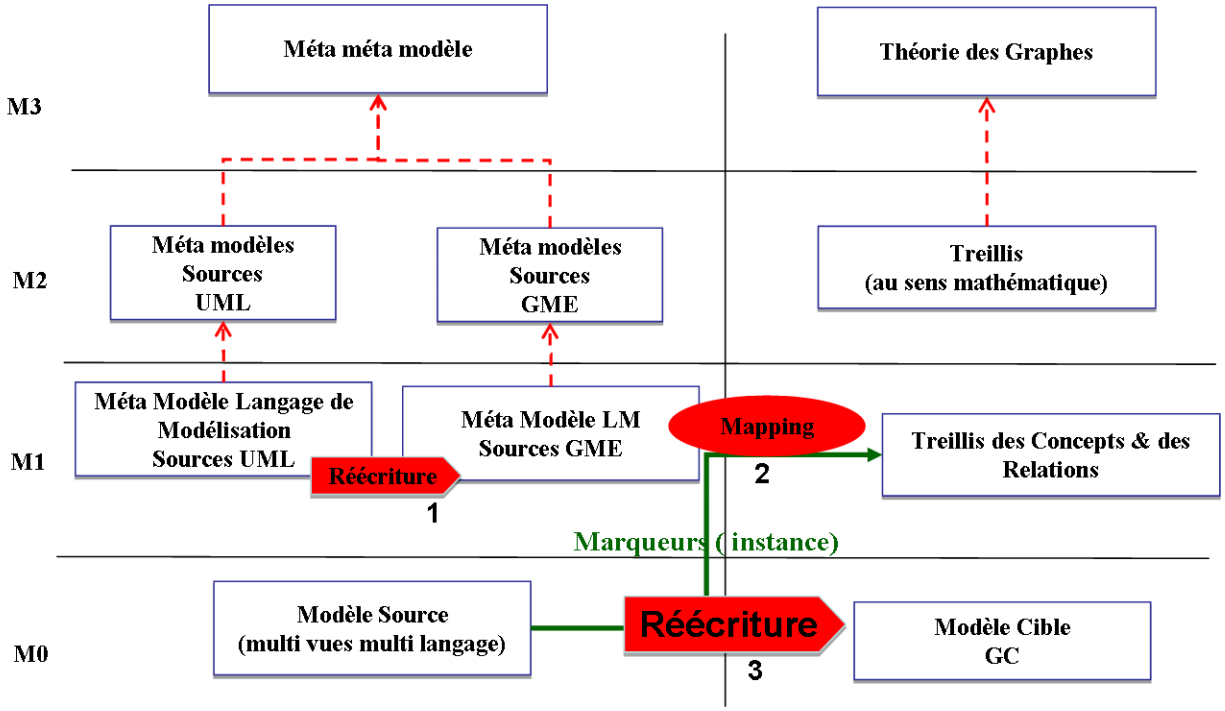


Figure 48. Principe du mapping et de la réécriture selon MDA

Un modèle en entrée est ainsi transformé en un modèle en sortie et cette transformation est elle-même spécifiée par un autre modèle. Cette projection définit les correspondances entre les éléments des deux métas modèles. Ici cette projection est spécifiée à l'aide d'un algorithme de projection.

L'approche résumée dans la Figure 48 sera décrite dans la suite de ce document. Dans un premier temps nous allons présenter la réécriture de méta modèle UML en méta modèle utilisé par l'outil retenu. Dans un second temps, les règles de mapping des métas modèles sources vers les treillis des concepts et des relations seront décrites. Dans un troisième temps, nous allons expliquer les règles de réécriture permettant de passer d'un modèle source vers un modèle cible unique en Graphe Conceptuel. Enfin, nous présenterons la réécriture de propriétés sous forme de graphe.

4.4.2 Des métas modèles aux treillis de concepts et de relations

4.4.2.1 UML vers GME

A des fins d'application, tous les métas modèles écrit en UML et présentés dans la première partie de ce chapitre ont été traduits vers le langage utilisé par l'outil informatique retenu : GME [GME, 2006]. Ainsi avant de présenter la transformation des métas modèles vers les treillis de concepts et de relations, nous allons expliquer la réécriture des métas modèles UML en métas modèles GME. Le méta modèle du langage GME étant lui-même basé sur une approche Model Driven Architecture [GME, 2005], cette réécriture est relativement aisée. La Figure 49 présente les concepts de GME, ces concepts sont plus amplement expliqué dans [LEDECZI *et al.*, 2001]. Dans la Figure 50 le détail des correspondances entre les concepts GME et les concepts UML sont présentés.

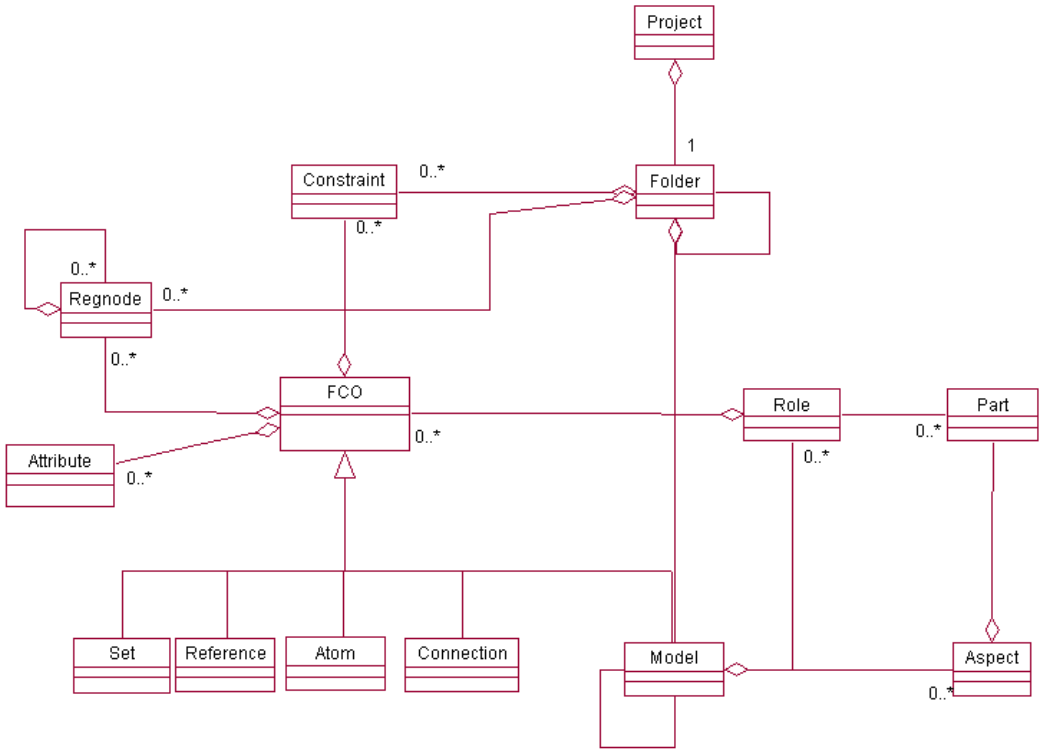


Figure 49. Les concepts de GME tels que présentés dans [AKOS LEDECZI *et al.*, 2000]

Le concept *Project* contient une collection de *Folder* (dossiers qui servent à organiser les modèles). Le concept *Folder* contient le concept *Model*. Les concepts *Models*, *Atoms*, *References*, *Connection* et *Sets* sont des FCO c'est à dire des *First Class Objects*. Tout ces concepts sont détaillés dans [LEDECZI *et al.*, 2001 ; GME, 2006].

UML	***GME***

Classe	FCO
Héritage	Héritage
Encapsulation	Folder
Relation	Connexion
Attributs	Attributs

Figure 50. Correspondances entre les concepts UML, les concepts GME

La Figure 51 illustre un exemple de réécriture pour le méta modèle du langage de modélisation Statechart, les autres métas modèles GME sont fournies en Annexe (Annexe C, D et E).

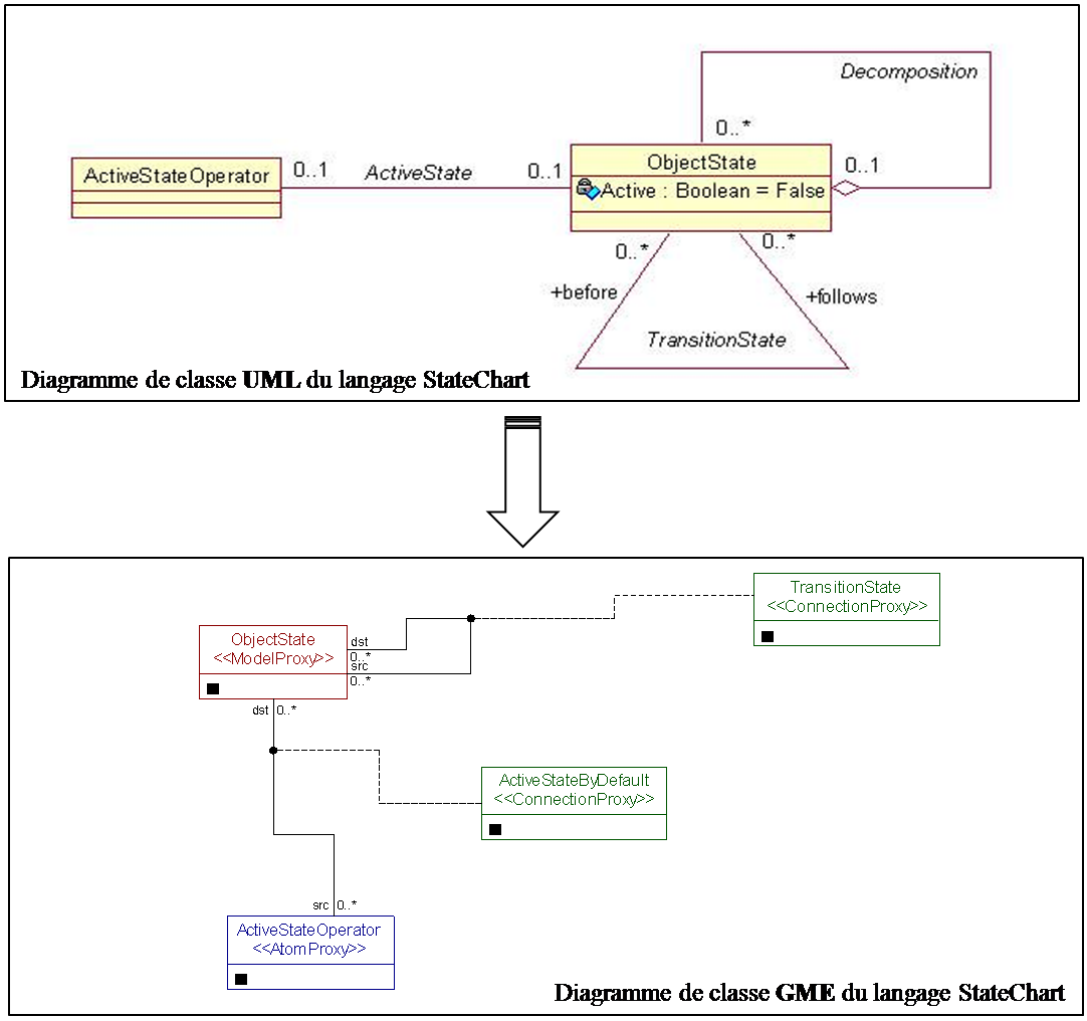


Figure 51. Réécriture d'un diagramme de classe UML pour le langage Statechart en GME

4.4.2.2 GME vers les Graphes Conceptuels

Selon [GRANGEL *et al.*, 2007] pour construire le mapping entre les concepts des méta modèles source et cible, quatre cas peuvent être rencontrés :

- Mapping *un à un :* un concept du méta modèle source correspond à un concept unique du méta modèle cible sans modification.
- Mapping *un à plusieurs* : ici deux cas peuvent être considérés. Le premier consiste à faire la correspondance entre un concept du méta modèle source et plusieurs concepts du méta modèle cible. Dans ce cas, le concept source est dispersé entre plusieurs concepts cibles. Le second cas apparaît lorsqu'un concept source a plusieurs concepts cibles candidats.
- Mapping *plusieurs à un* : dans cette projection, plusieurs concepts sources sont agrégés pour devenir un concept cible. Il est dans ce cas possible de définir une projection automatique entre

les modèles source et cible. Mais la transformation inverse devient alors impossible, et il est nécessaire d'ajouter de l'information sur l'agrégation réalisée pour permettre cette projection inverse. Cette information complémentaire peut être intégrée au modèle cible en définissant par exemple un profil spécifique ou une annotation sémantique. Une autre solution consiste à garder la trace de la transformation appliquée [CZARNECKI et HELSEN, 2003] pour éviter la surcharge du modèle cible obtenu. Bien que cette information ne soit pas directement utile dans le contexte du modèle cible, il est important de la préserver afin de l'utiliser dans la transformation inverse et assurer la traçabilité des transformations réalisées.

- Mapping *plusieurs à plusieurs* : elle représente les relations entre une collection de concepts du méta modèle source en une collection de concepts du méta modèle cible. »

Dans la suite de ce travail nous nous plaçons dans le cadre d'un mapping *plusieurs à un*. Les différents métas modèles du niveau M1 contiennent tous les concepts de modélisation utilisés. Les modèles quant à eux contiennent les instances utilisés durant la phase de modélisation. Cette connaissance va servir à bâtir le support *S* (les treillis des concepts et des relations), utilisé pour la construction du graphe conceptuel du niveau M0. La Figure 52 matérialise la construction des treillis par le biais du mapping des concepts présents dans les métas modèles au niveau M1 mais également les marqueurs (instances) présents au niveau M0 dans l'univers des modèles.

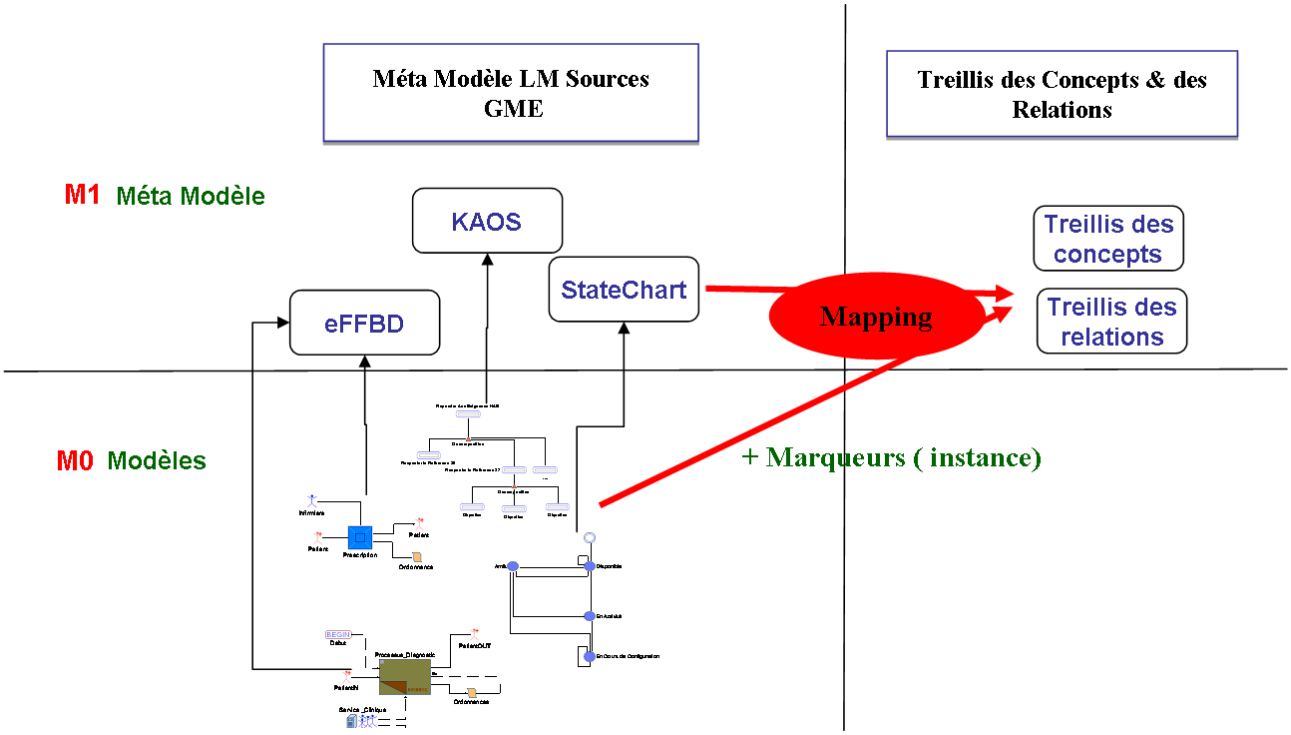


Figure 52. Construction des treillis

La Figure 53 décrit la formalisation de ce mapping. Ce mapping spécifie que les entités ATOM, MODEL et FCO sont transformés en Concepts en conservant la notion d'héritage. Les FCO sont de type abstrait et ne possèdent pas de marqueurs. Les attributs GME sont transformés en concept attribut.

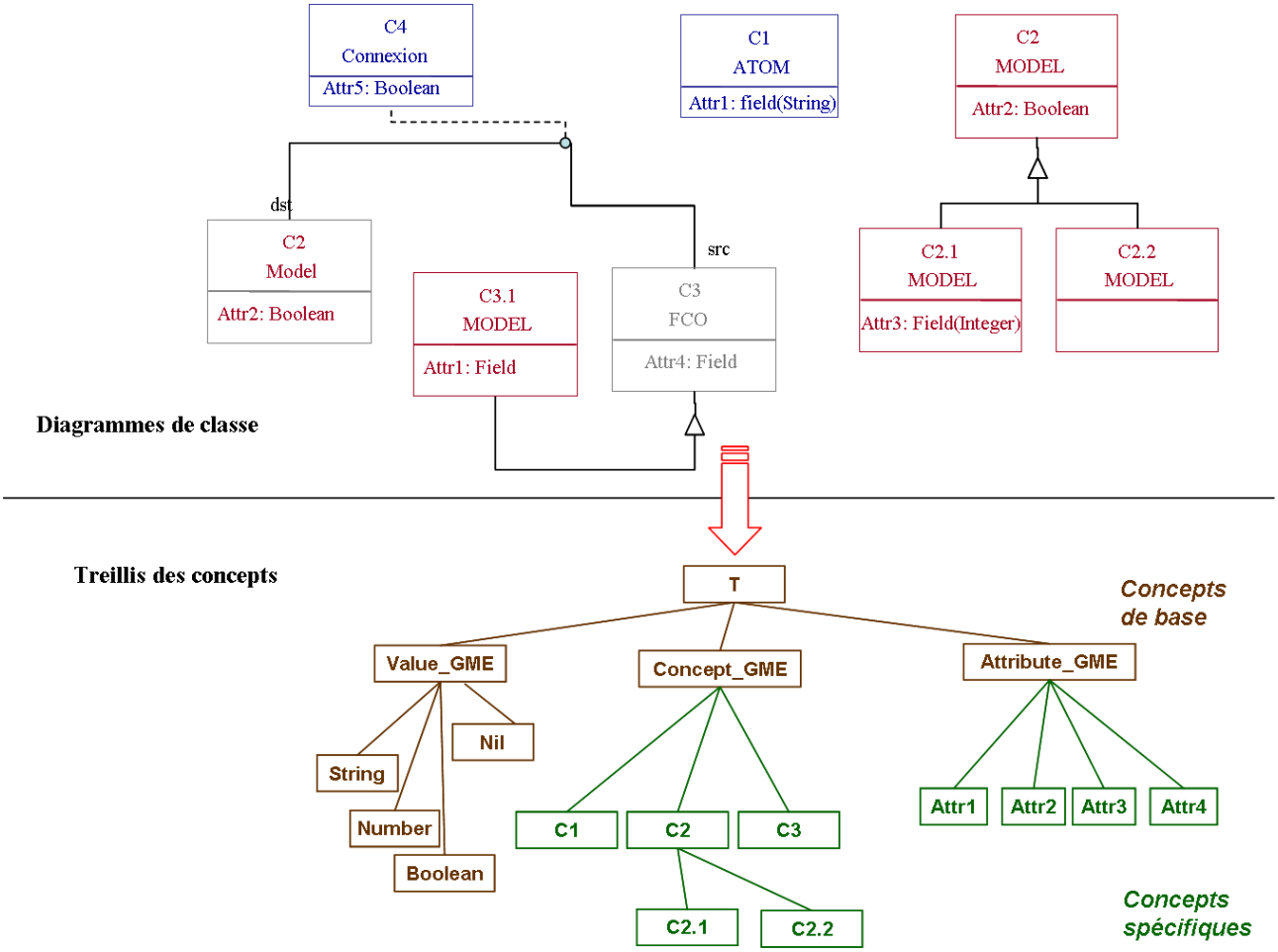


Figure 53. Réécriture de diagramme de Classe GME en treillis des concepts

Par défaut, pour répondre à la définition des graphes conceptuel, T qui est le plus grand élément et représente le concept universel et ⊥ qui est le plus petit élément et représente le concept absurde, sont créer automatiquement. Le Tableau 12 détaille ces correspondances et la Figure 54 expose un exemple de réécriture en tenant compte des instances de classe présentes dans le treillis sous forme de marqueurs.

Concepts de GME	Concepts GC
Atom	Atom → hérite de Concept_GME
Model	Model → hérite de Concept_GME
Connexion (au sens concept)	Connexion → hérite de Concept_GME
Attributs	Attribute_GME → hérite de Attribute_GME
Valeur des attributs	Création du concept Value_GME
Instances de classe	Marqueurs associés aux Types

Tableau 12. Construction du treillis des concepts

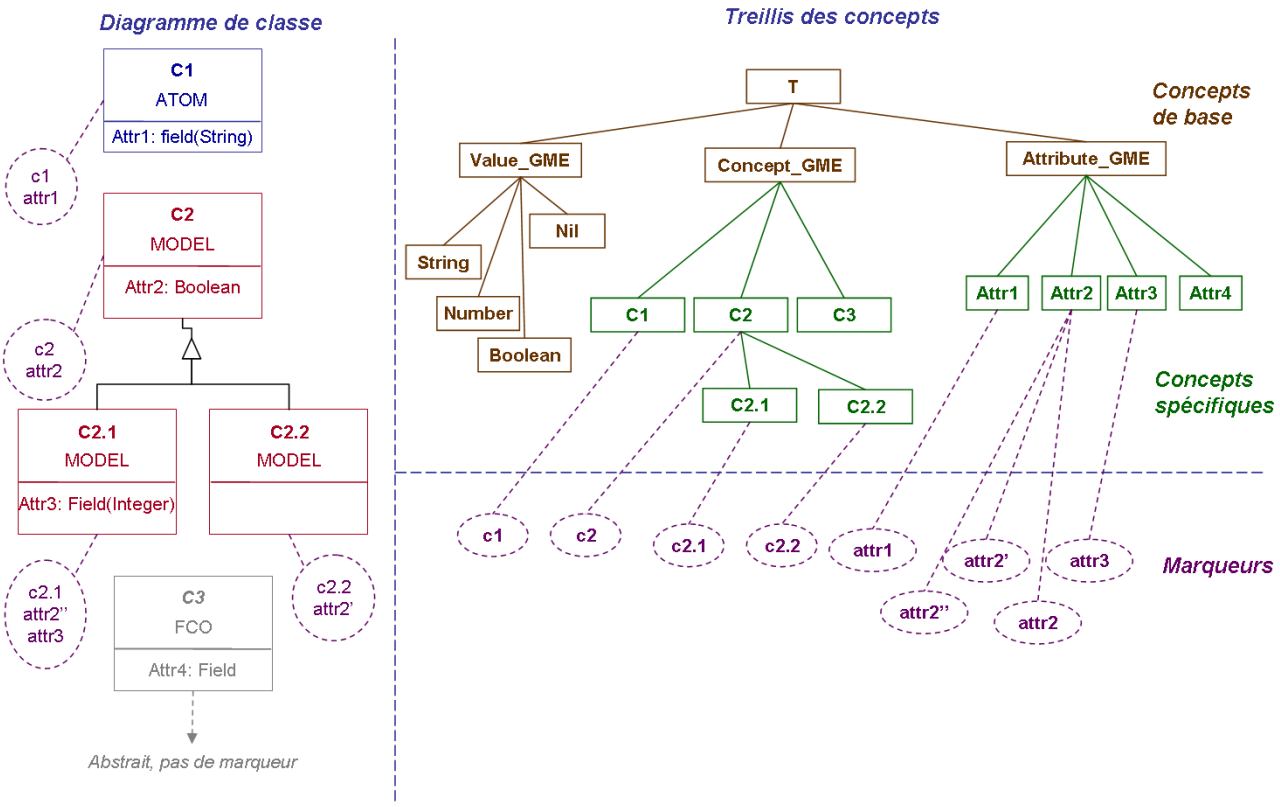


Figure 54. Diagramme de Classe GME avec instances vers Treillis avec marqueurs

Le même type de technique a été réalisé pour la construction du treillis des relations (Figure 55).

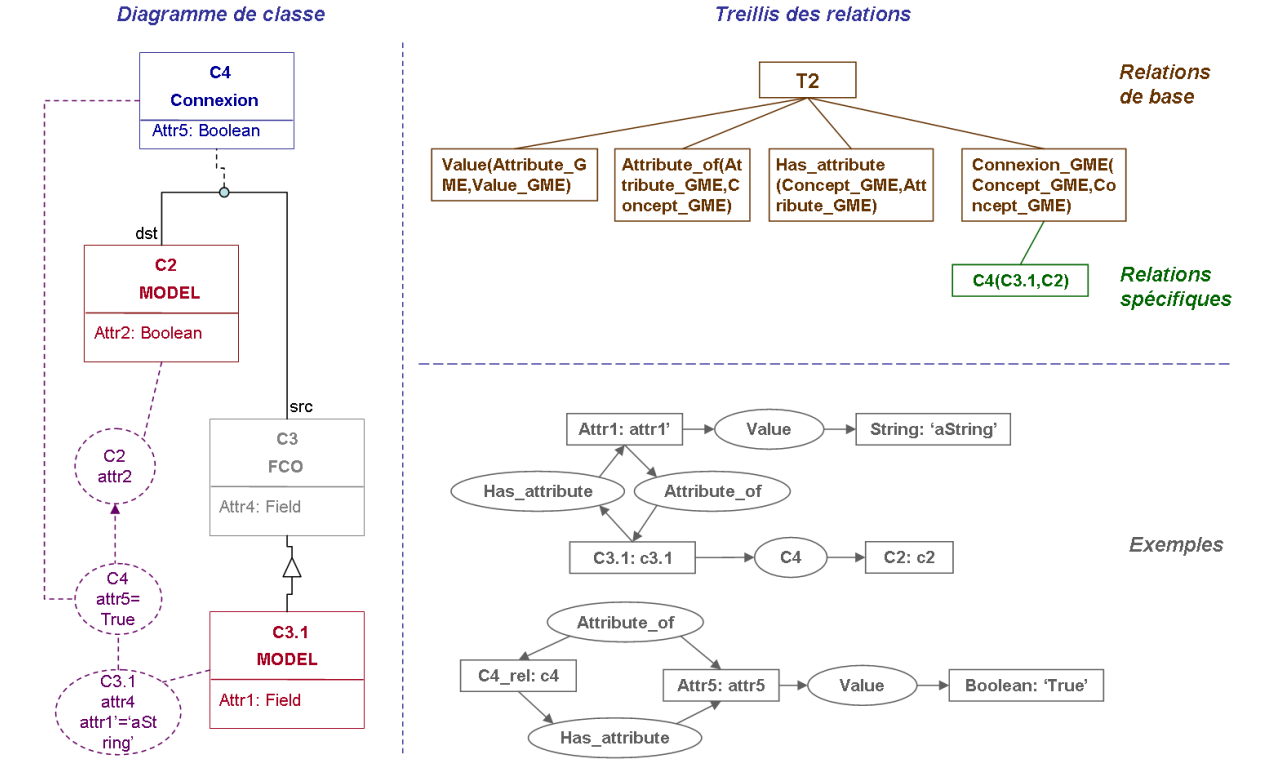


Figure 55. Correspondances entre les concepts GME et les treillis de relations

Les treillis sont construits de manière automatique par une application informatique les Annexes G et H en illustre l'architecture.

4.4.3 Transformation de modèle en GC

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons décrit de quelle façon le système était représenté au moyen des différentes vues de modélisation. La modélisation est relativement riche et se présente sous la forme de plusieurs modèles exprimés avec divers langages de modélisation. La suite des travaux de recherche présente la manière d'unifier cette représentation multi vues et multi langages en la réécrivant sous un modèle unique exprimé en Graphe Conceptuel. La technique proposée se base sur une réécriture guidée par les modèles conforme à l'approche MDA telle que présentée dans la Figure 56.

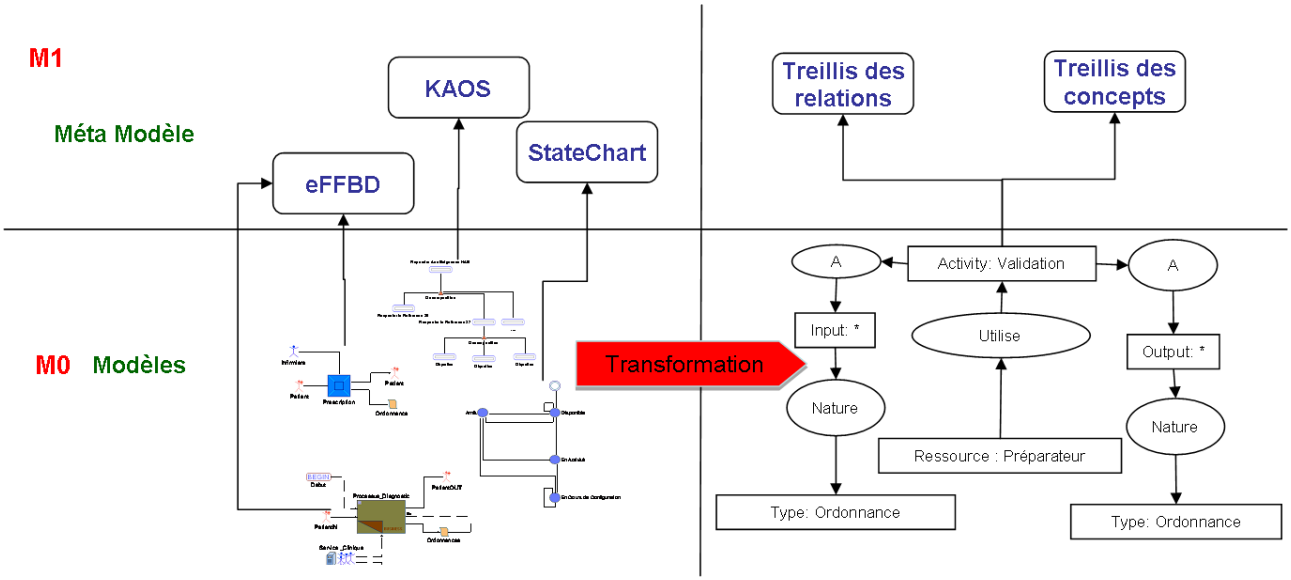


Figure 56. Réécriture de modèle selon l'approche MDA

L'approche de réécriture décrite dans la suite est basée sur un mapping *plusieurs à un*. La transformation est donc à sens unique, elle n'est pas bijective. Néanmoins, cette transformation n'apporte pas d'informations supplémentaires et n'en supprime pas. Lors de l'utilisation des graphes conceptuels, elle est suffisante.

4.4.4 Les propriétés sous forme de GC

Les propriétés sont exprimées dans un premier temps sous forme de phrase en langage naturel comme présenté dans le référentiel de propriétés au Chapitre III.

⇨ Exemple de propriétés sous forme de GC simples.

Propriété 2			
Une activité est achevée dès qu'elle fournira les informations ou les produits attendus			
Cause	**Relation de causalité**	**Effet**	**Niveau de détail**
émission d'information ou produit requis	implication	achèvement de l'activité	Points de vue de modélisation

Tableau 13. La propriété P2 exprimée en langage naturel

Figure 57. Réécriture de la propriété P2 en GC

⇨ Exemple de propriétés sous forme de contrainte.

Propriété 3			
Toute activité de fabrication pour laquelle il y a des écarts entre réalisation et prévision est soumise à des actions correctives			
Cause	**Relation de causalité**	**Effet**	**Niveau de détail**
▪ Ai activité de fabrication ▪ Sortie(Ai) prévisions	implication	Action correctives sur l'activité Ai	Points de vue de modélisation

Tableau 14 . La propriété P3 exprimée en langage naturel

Soit Ai l'activité de fabrication des chimiothérapies, la Figure 58 correspond à la réécriture de P3 en GC.

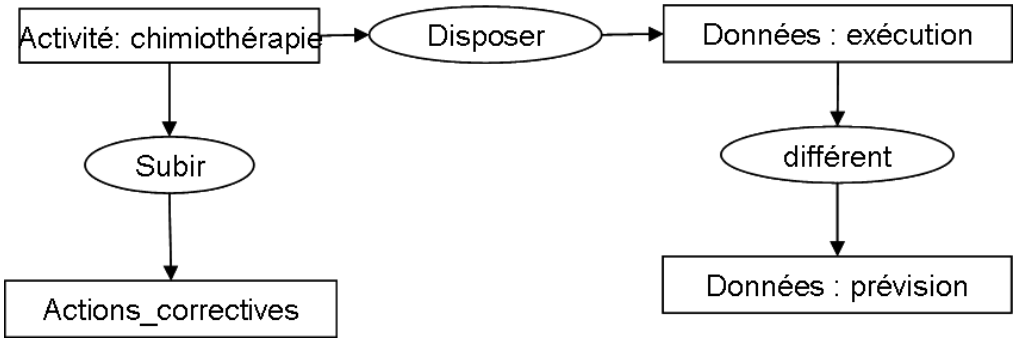


Figure 58. Réécriture de la propriété P3 en GC

4.4.5 Des opérations sur les graphes conceptuels à la vérification

Munis de l'ensemble des opérations sur les GC décrites précédemment, il est alors possible de définir des mécanismes de preuve de propriétés.

4.4.5.1 La vérification : un modèle cohérent

Selon [JAGDEV *et al.*, 1995], la nécessité de vérification de modèle est directement proportionnelle à la complexité du système que le modèle tend à représenter. La vérification est la première phase de l'analyse. Elle va ainsi permettre de lever des ambiguïtés ou erreurs de modélisation et de compléter les modèles. Le but poursuivi est d'obtenir un modèle cohérent entre les différentes vues et entre les différents niveaux de détail. Dans ce qui suit nous allons présenter deux exemples d'utilisation des opérations de graphe. L'opération de projection et la contrainte vont servir à vérifier des propriétés modèles.

⇨ La projection :

Propriété modèle liée à la vue *Structure* dans le point de vue *Processus* : « *Chaque activité doit posséder au moins un flux d'entrée*»

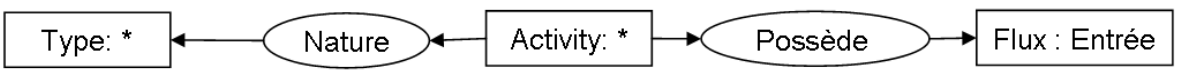


Figure 59. Propriété modèle traduite en GC pour une projection

Cette propriété va permettre de s'assurer qu'il n'y a pas d'oubli des flux d'entrée lors de la modélisation d'une activité. Elle est également écrite pour vérifier les flux de sortie.

⇨ Contrainte :

Propriété modèle liée à la vue S*tructure* dans le point de vue *Ressources* : « *Une ressource intervenant dans une activité doit être disponible et apte à remplir sa tâche ou l'opération qui lui est dévolue* ».

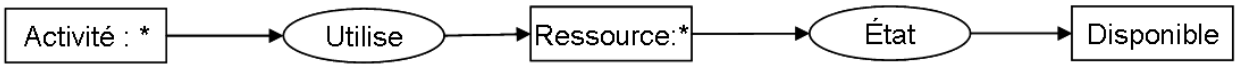


Figure 60. Propriété modèle traduite en GC pour une contrainte

Cette contrainte est de nature positive. L'objectif est de s'assurer, d'une part que plusieurs activités ne font pas appel à une même ressource à un même moment et d'autre part qu'une ressource possède les compétences nécessaires pour réaliser une activité.

4.4.5.2 Tracer les causes potentielles de risques

L'analyse du risque va consister à mettre en œuvre les mécanismes de preuve afin d'évaluer les conditions de modification de la véracité de certaine des propriétés attendues au moyen de l'ensemble des informations présentes dans les différents modèles associés à chaque point de vue. Les propriétés utilisées dans ce cas sont liées aux Déficit Systémique Cindynogène.

⇨ La projection :

Propriété liée à un DSC d'origine organisationnelle dans le point de vue *Processus : « chaque processus a un responsable clairement désigné »*.

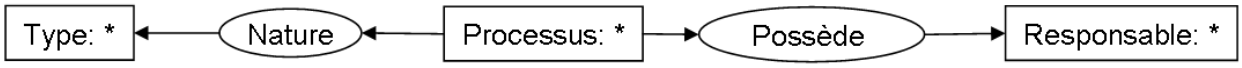


Figure 61. Propriété liée à un DSC pour une projection

⇨ Contrainte :

Propriété liée à un DSC de nature culturelle dans le point de vue *Processus : « Une activité de nature décision a un flux de sortie de type information »*.

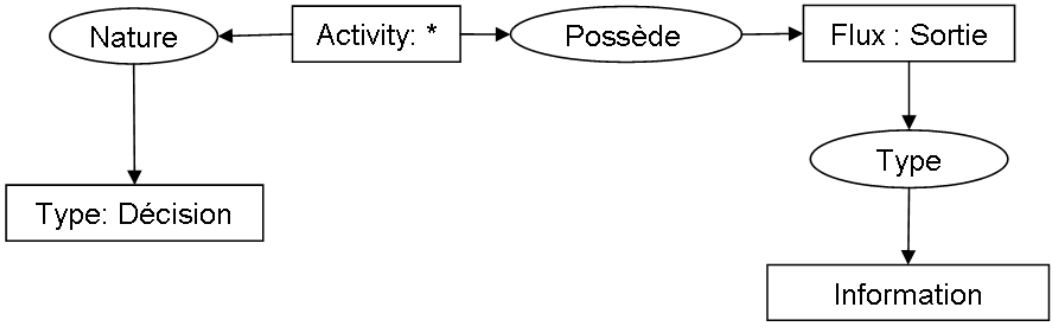


Figure 62. Propriété liée à un DSC pour une contrainte

Cette contrainte est de nature positive.

4.4.6 Conclusion : limitations de l'approche d'analyse

Dans la partie analyse de modèle nous avons tenté de répondre à deux besoins par l'utilisation des Graphes Conceptuels comme seul outil de raisonnement. Le premier besoin est la vérification de modèles du système, le second est la recherche dans les modèles des Déficits Systémiques Cindynogènes, donc des risques. Pour couvrir ces deux besoins, la technique employée est la même et se divise en trois parties :

1. Unifier les différents modèles du système dans un seul Graphe Conceptuel
2. Ecrire le référentiel de propriétés en Graphes Conceptuels
3. Utiliser les opérations de projection et de contrainte des Graphes Conceptuels pour faire de la vérification et de la recherche de risque.

L'utilisation des Graphes conceptuels est intéressante pour répondre à ces besoins. Néanmoins, dans l'état actuel de l'étude, l'analyse est a-temporelle c'est à dire qu'elle ne permet pas une prise en compte du temps selon une approche logique comme physique. Une des limites des graphes conceptuels réside en effet dans la modélisation du temps. Ceci résulte de la manipulation des graphes basés sur la logique du premier ordre [SOWA, 1984]. Néanmoins certains travaux permettent de modéliser l'aspect temporel tels que présentés dans [CHARHAD *et al.*, 2005], où l'ensemble des relations temporelles d'Allen est utilisé pour la modélisation temporelle [HJELSVOLD et MIDTSTRAUM, 1994]. Ces relations exploitent implicitement la notion de temps. Elles sont calculées à partir de la prise en compte de la sémantique des liens temporels (starts, before, finish, after, meets, etc.). L'interprétation temporelle est alors représentée par deux types de Graphes Conceptuels (GCs). Le premier modélise la représentation sémantique du contenu et le second le diagramme temporel exprimant les contraintes temporelles. L'ensemble des relations temporelles est alors classé dans un treillis de relations.

La partie suivante présente dans un premier temps la démarche de mise en œuvre des différents concepts décrits précédemment. Cette démarche se présente sous la forme d'une série de questions qu'il faut se poser pour avoir des modèles complets. Dans un second temps, cette partie décrit les outils employés pour supporter cette démarche.

5 Démarche de mise en œuvre : guide méthodologique & outils informatiques

Pour faciliter le travail du groupe d'acteurs impliqués dans le processus de maîtrise du risque, un guide méthodologique a été développé. Il est construit à la manière d'un questionnaire guidant les différentes étapes de la modélisation et aidant les acteurs à alimenter les différentes vues de la modélisation.

Chaque acteur doit ainsi répondre, avec sa propre vision de la réalité, sa propre sensibilité et ses propres objectifs à ces questions. Ceci permet d'éclairer et de mieux comprendre le système.

5.1 Le cadrage de l'étude

Un modèle est toujours construit dans un but précis, et doit prendre en compte d'une part la fonction, la structure et le comportement de l'organisation et d'autre part le point de vue spécifique des différents acteurs qui la composent. D'après [LE MOIGNE, 1990], « *puisque l'on peut connaître les phénomènes perçus complexes par la modélisation systémique et projective par laquelle on se la représente, nous pouvons englober dans l'expression systèmes complexes...le territoire ET sa carte, le phénomène ET ses représentations. Le système complexe est la représentation active sur laquelle on va raisonner pour anticiper les conséquences des projets d'actions à entreprendre...dans la réalité ou le territoire.* ». Cette étape vise à cerner les contours de l'étude, du système, les objectifs de ces derniers. Cela va permettre d'orienter les modeleurs.

5.2 Construction d'une ontologie

Le guide méthodologique débute sur l'initialisation de la construction d'une ontologie du système. Cette construction est faite de proche en proche et nécessite donc d'être suivie tout au long de la phase de modélisation :

- Quels sont les concepts du domaine ?
- Quelles sont les relations entre les concepts du domaine ?
- Quels sont les termes équivalents (synonymes) ou contraires (risques d'homonymie) utilisés par les acteurs du système pour désigner ces concepts ?
- Quels sont les termes équivalents ou contraires utilisés par les acteurs du système pour désigner ces relations?

5.3 Construction des modèles

Comme proposé plus haut, la modélisation implique de décrire plusieurs vues, et ce souvent en parallèles les unes des autres. Chaque vue possède son propre guide méthodologique avec une liste de questions qui sont présentées ci-dessous :

- Guide méthodologique qui permet aux acteurs de décrire la fonction du système :
  - Quelle est la finalité du système? Sa mission ? Quels sont ses objectifs ?
  - Quels sont ses partenaires ?
  - Quelles relations (entrées, sorties) et quelles sont les exigences de ces partenaires vis-à-vis du système de santé ? (on voit ici apparaître les aptitudes que ces partenaires attendent de la part du système de santé) Quelles sont enfin les caractéristiques de temps (durée,

fréquence, etc.), d'espace (où ?) et de forme (comment et sous quelle forme l'échange se produit-il ?) de ces relations et de ces interactions ?

- Guide méthodologique qui permet aux acteurs de décrire la structure du système :
  - Quelles sont les taches, les activités, les procédures et les processus de l'organisation ?
  - Quelles sont les ressources mises en œuvre (humaines, matérielles et applicatives) ? Quels sont leurs attributs (en termes de compétences, de savoir faire, de temps, d'espace et de forme) ?
  - Comment sont organisées ces ressources pour supporter les processus et les activités ? (en termes de service, d'unité organisationnelle ou de département par exemple)
- Guide méthodologique qui permet aux acteurs de décrire le comportement du système :
  - Pour chaque processus, quels sont les scénarios mis en œuvre, les événements qui les déclenchent ou qui les arrêtent ? Les scénarios peuvent être décrits en tenant compte de leur mode de fonctionnement (nominal, dégradé, etc.)
  - Pour chaque scénario correspondant à un processus P et pour chaque unité organisationnelle mise en œuvre dans P, quelles sont les différentes configurations possibles de cette Unité pour que le processus atteigne ses objectifs ? Comment peut-on passer d'une configuration à une autre ? Quelle(s) configuration(s) autorise(nt) tel ou tel scénario (effectif réduit, week-end, nuit, etc.) ?
  - Comment le système anticipe-t-il les changements (exigés par l'environnement ou d'origine interne) ?
  - Comment le système réagit au changement de son environnement et absorbe les pressions sans perte de stabilité ?
  - Comment le système est-il effectivement piloté pour que son efficacité soit ajustée ?
- Guide méthodologique qui permet aux acteurs de construire ou d'enrichir un référentiel de propriétés :
  - Quelles sont les propriétés du système (exigences client, système, normatives) ?
  - Quelle sont les propriétés modèles devant être vérifiées pour assurer de la cohérence et de la consistance des modèles, des vues et des niveaux de détail ?
  - Quelles sont les propriétés modèles qui permettent de spécifier plus concrètement les propriétés système ?
  - Quelles sont les propriétés axiomatiques du domaine autres que normatives ?
  - Quels sont les Déficits Systémiques Cindynogènes (DSC) de l'organisation ? [KERVERN, 1995 ; CHAPURLAT *et al.*, 2006]

5.3.1 Les outils de modélisation

5.3.1.1 Protégé : outil pour la construction d'ontologie

Protégé est un environnement graphique de développement d'ontologies Open Source crée par le SMI de Stanford (http://protege.stanford.edu/). C'est un éditeur extensible d'ontologie qui permet de construire une ontologie pour un domaine donné, de définir des formulaires d'entrée de données, et d'acquérir des données à l'aide de ces formulaires sous forme d'instances de cette ontologie. Ce logiciel est en constante évolution avec une communauté très active et intègre les standards du Web sémantique, notamment OWL. Dans le modèle de connaissance de Protégé les ontologies consistent en une hiérarchie de classes qui ont des attributs (slots) qui peuvent eux-mêmes avoir certaines propriétés (facets).

5.3.1.2 GME : outil pour la construction des métas modèles et des modèles

L'outil GME (acronyme de Generic Modelling Environment [GME, 2006]) est un outil configurable pour la création d'un environnement de modélisation dédié à des domaines spécifiques. Il permet de définir un méta modèle ou paradigme de modélisation puis les modèles correspondants à ces paradigmes de modélisation et cela en suivant l'approche MDA [BEZIVIN *et al.*, 2001]. Cet environnement permet de créer des outils de modélisation spécifiques. La configuration est accomplie par le biais de métas modèles indiquant le paradigme de modélisation du domaine d'application. Le paradigme de modélisation contient toutes les informations concernant la syntaxe, la sémantique, et même la présentation du domaine retenu (aspects graphiques). Il permet de définir les concepts qui seront employés pour construire les modèles, quels rapports peuvent exister entre ces concepts et la façon dont ils peuvent être organisés et vu par le modeleur. Le méta modèle va également servir à définir les règles et contraintes régissant la construction des modèles dans le nouveau domaine. Le langage employé pour la méta modélisation est basé sur la notation de diagramme de classe d'UML et des contraintes OCL. Les métas modèles décrivant le paradigme de modélisation sont employés pour générer automatiquement un environnement spécifique au domaine décrit. Le nouvel environnement spécifique au domaine produit est alors employé pour définir les modèles (Figure 63).

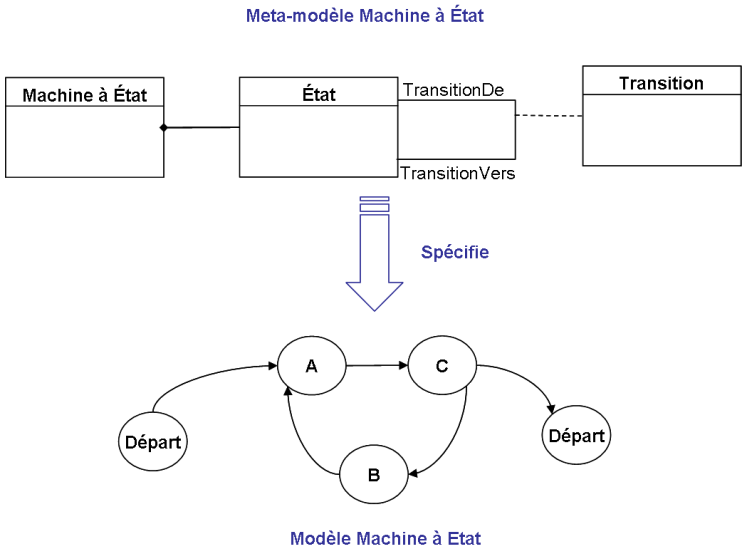


Figure 63. Exemple de méta modélisation et de modélisation avec l'outil GME [GME, 2006]

5.3.2 Cogitant : outil d'analyse

Il existe un certain nombre d'outils qui implémentent les Graphes Conceptuels notamment pour une utilisation orientée recherche et extraction d'informations [TRIVIUM, 2005 ; INRIA, 2007]. Cependant, très peu de ces outils offrent un environnement logiciel complet pour l'utilisation la plus large possible des modèles, le stockage et la manipulation d'un grand nombre de graphes.

La plateforme CoGITaNT [GENEST, 2003], mise au point au LIRMM (Laboratoire d'Informatique de Robotique et de Microélectronique de Montpellier) a été utilisée pour ces raisons. CoGITaNT est l'acronyme de *Conceptual Graphs Integrated Tools allowing Nested Typed graphs*. CoGITaNT se présente sous la forme d'une bibliothèque de classes C++ permettant le développement de logiciels basés sur les graphes conceptuels. Une architecture Client/Serveur a été développée en utilisant cette bibliothèque, et permet d'opérer sur des graphes conceptuels par le biais d'un protocole TCP/IP. L'application principale de cette architecture est un outil de saisie de graphes conceptuels sous forme graphique. Cette interface graphique permet ainsi la manipulation des graphes : la création, suppression, l'ajout de sommet, etc. Cet outil permet également de vérifier qu'un graphe conceptuel est correctement construit (vérification des signatures et de la relation de conformité),

ainsi que les opérations de projection et de contrainte. Cette application peut être utilisée sous différents environnements d'exploitation (Windows, Unix, Mac).

5.3.3 Interface entre les différents logiciels

Le point précédent a décrit les deux principaux outils qui permettent la modélisation et l'analyse. Ci-dessous, une partie plus technique qui présente les langages informatiques utilisés.

- GME : Les modèles issus de GME sont stockés dans une base de données modèle ou dans un fichier au format XML (eXtensible Markup Language) [W3C, 2007]. L'outil GME permet ainsi de manipuler des fichiers sous le format d'échange standard qu'est XML. C'est un langage de balisage (Markup), c'est-à-dire qu'il présente de l'information encadrée par des balises. XML permet de séparer le contenu (l'information) de la présentation par l'utilisation de DTD (Définition de Type de Document). En effet, la structure arborescente du document XML peut être déclarée formellement dans un fichier à part « .dtd ». Elle s'effectue selon un formalisme particulier défini lui-aussi dans la spécification XML. GME utilise un type d'XML particulier dont l'extension est « xme » et qui a une DTD particulière présentée en Annexe I. L'intérêt de l'utilisation de fichier XML va être la portabilité des modèles et leur intégration dans n'importe quel application pourvue d'un parser (c'est-à-dire un logiciel permettant d'analyser un code XML).
- CoGITaNT : cet outil propose plusieurs formats qui lui permettent de manipuler les graphes en lecture et écriture. Les fichiers peuvent être au format BCGCT (format natif de CoGITaNT) ou au format CoGXML. Le format BCGCT (Base de Connaissances Graphes Conceptuels Textuelle) est le format natif de CoGITaNT. Il permet de représenter sous une forme lisible les différents objets manipulés par la bibliothèque :
  - un support, formé d'un ensemble partiellement ordonné des types de concepts, des types de relations, des types d'emboîtements, des signatures des types de relation et de la relation de conformité
  - des graphes conceptuels (connexes ou non connexes, simples ou emboîtés)
  - des règles

  Le format CoGXML permet de représenter des graphes conceptuels sous la forme de documents XML. Ce format standard permet ainsi d'échanger avec d'autres applications de manière assez aisée. En effet, le langage XML est un langage de représentation de données adapté pour décrire des données structurées. Un document XML est comme une arborescence d'objets, ayant des attributs et contenant du texte. La DTD qui a été définie permet la représentation de supports, de graphes et de règles sous une forme qui peut facilement être interprétée par des hommes et par des programmes. Une description complète de ce format, de la DTD, et des possibilités d'extension est donnée en Annexe J.

Le but de ce module logiciel est de servir d'interface entre la modélisation et l'analyse. L'objectif est de transformer la sortie de GME en entrée pour CoGITaNT tel que présenté dans la Figure 64.

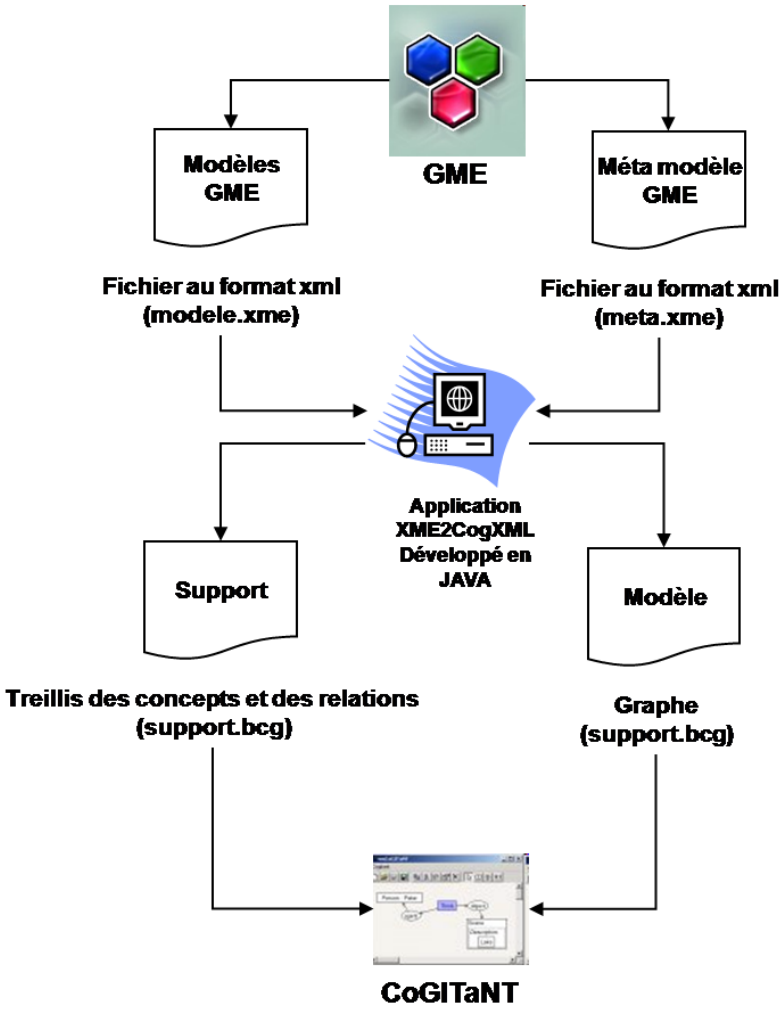


Figure 64. Interfaçage entre les différents formats de fichiers

5.3.4 Synthèse de la démarche

Cette section présente les trois étapes de méthode proposée (Figure 65) : Le cadrage de l'étude, la modélisation et l'analyse. Le Tableau 15 présente les outils associés à ces étapes.

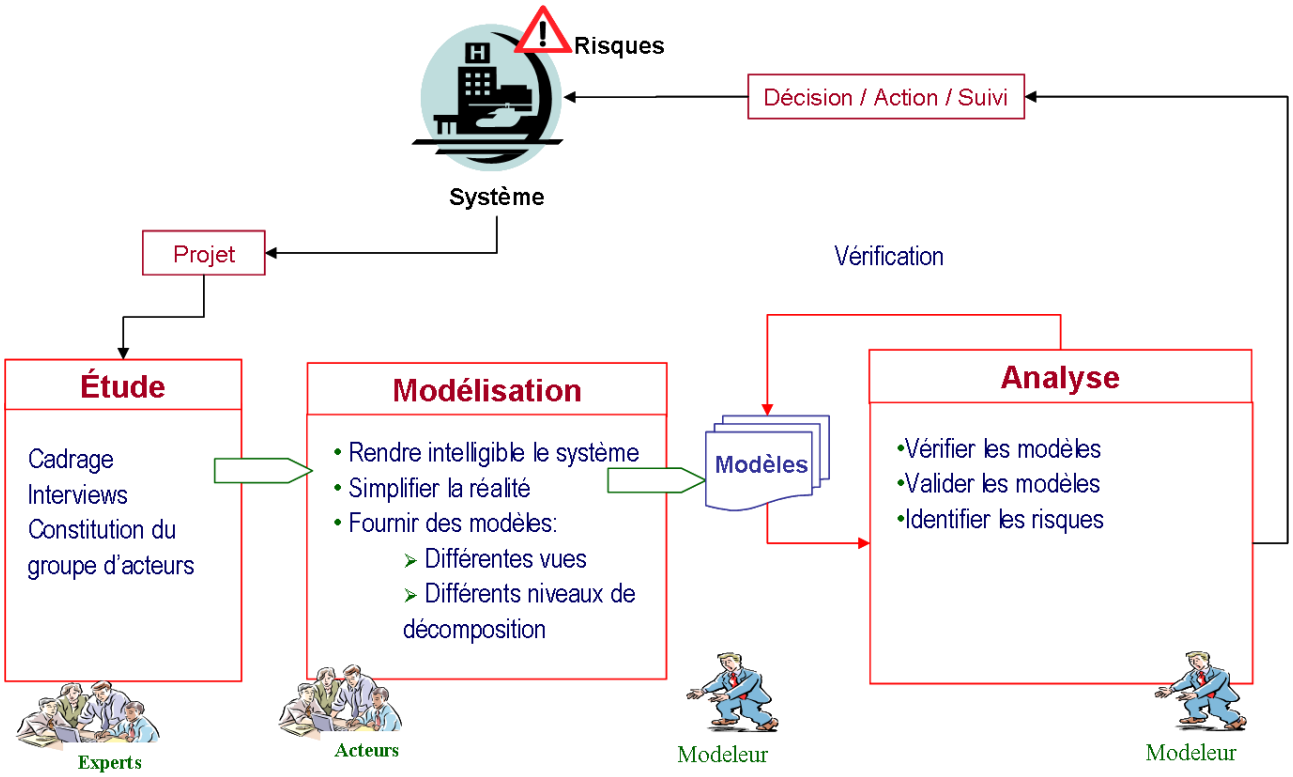


Figure 65. Synthèse de la démarche

Durant l'analyse, à chaque erreur de modélisation mise à jour par la preuve de propriété, les modèles sont corrigés et par conséquent améliorés. Ainsi la vérification permet d'obtenir des modèles de meilleure qualité.

Etapes	***Outils***	***Objectifs***
Etude	▪ Protégé ▪ Interviews	▪ Construction d'un vocabulaire commun ▪ Identification des systèmes et de ses constituants
Modélisation	▪ GME	▪ Création des métas modèles ▪ Création des modèles des systèmes
Analyse	▪ Application XME2CogXML	▪ Construction des treillis de relations et de concepts
	▪ Cogitant	▪ Opérations sur les graphes

Tableau 15. Synthèse des outils

5.4 Exemple illustratif

L'exemple suivant va permettre de récapituler l'utilisation des différents outils et va rappeler la démarche à suivre pour modéliser et analyser un système. Considérons un système modélisé sous plusieurs points de vue de modélisation. Ces différents points de vue d'un même système se présentent sous la forme de plusieurs modèles utilisant des langages de modélisation variés comme présenté dans la Figure 66 pour la vue fonctionnelle et structurelle et dans la Figure 67 pour la vue propriétés.

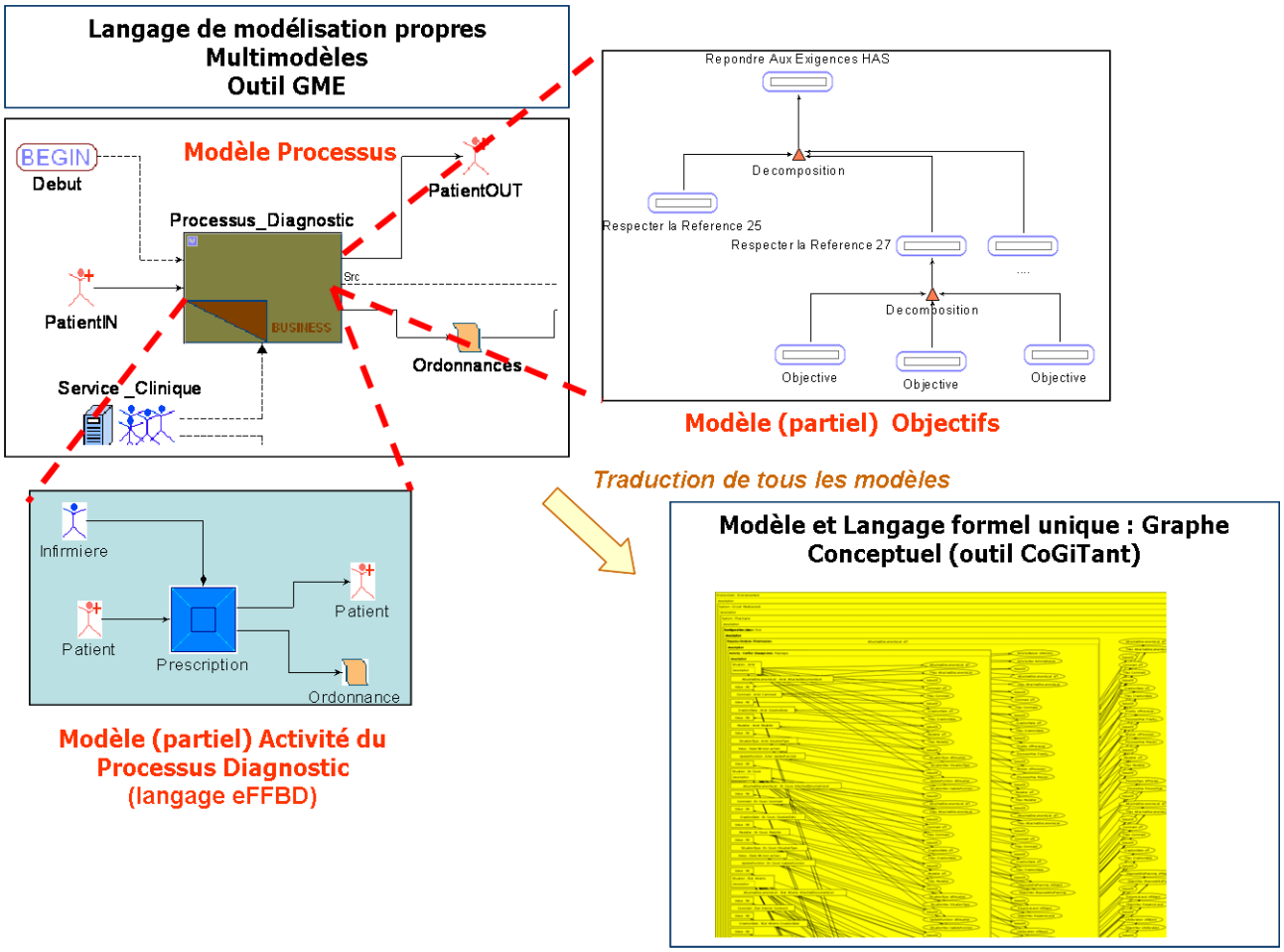


Figure 66. Passage d'une représentation multi modèles et multi niveaux vers un GC Unique

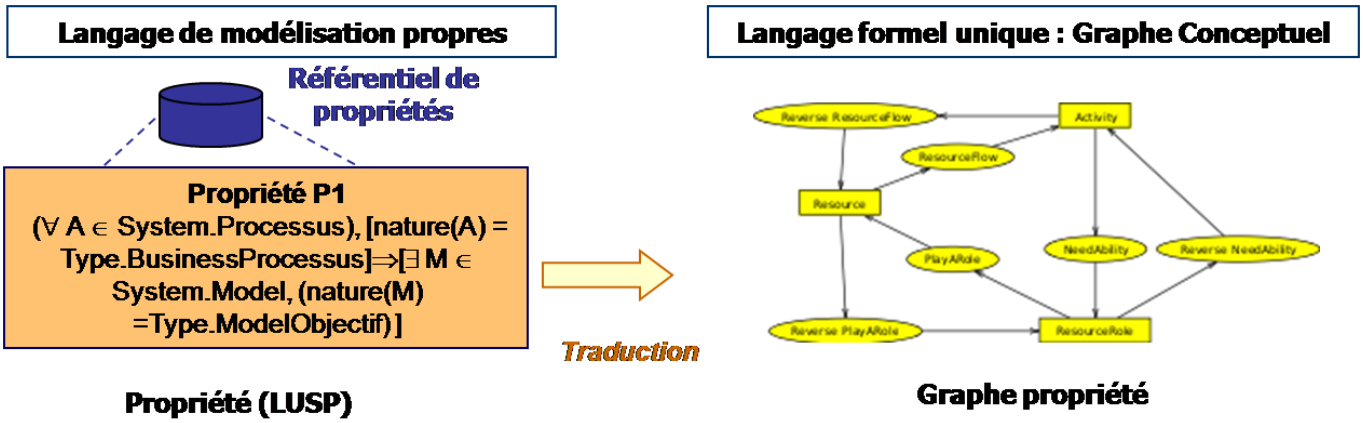


Figure 67. Traduction de LUSP vers les Graphes Conceptuels d'une propriété

Le système ainsi que les propriétés que le modèle doit satisfaire sont maintenant représentés par un seul et unique modèle utilisant un langage formel : les Graphes Conceptuels. Il est ainsi possible de

vérifier ces propriétés en utilisant la preuve avec les opérations de manipulation des graphes telle que la projection comme illustrée dans la Figure 68.

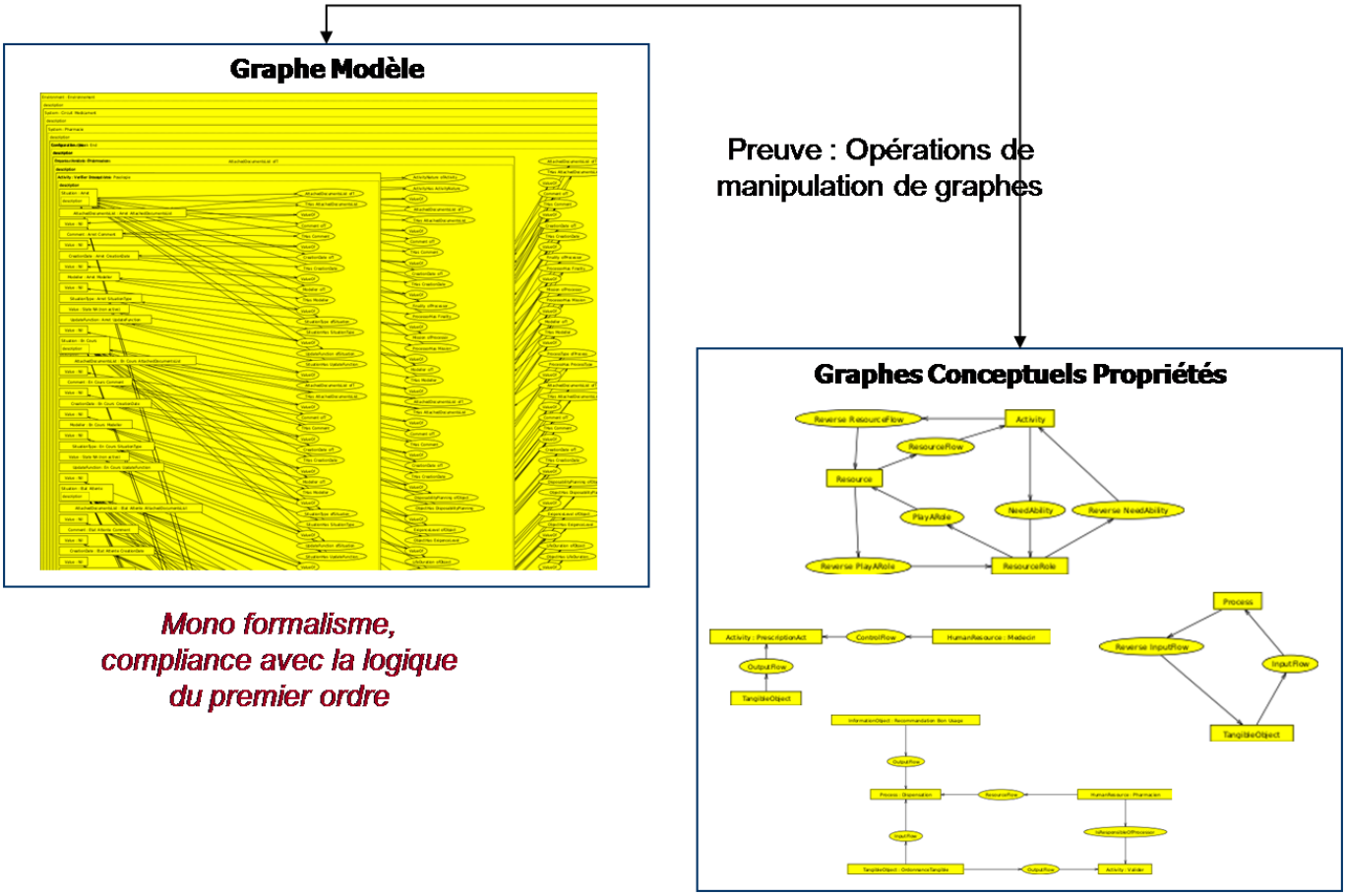


Figure 68. Exemple d'utilisation des opérations de manipulation des graphes

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une approche pour la maîtrise opérationnelle du risque dans une organisation de santé. L'Ingénierie Système a été utilisée pour bâtir des cadres de **modélisation** et d'**analyse** formelle cohérents.

1. La modélisation consiste à :
    a. Utiliser les vues fonctionnelle, structurelle et comportementale de l'approche systémique
    b. Enrichir ce cadre par la vue propriété
    c. Déterminer les points de vue de modélisation de ces vues et le niveau de détail choisi
    d. Choisir des langages de modélisation appropriés à chaque point de vue
2. L'analyse consiste à :
    a. Lever les problèmes d'interopérabilité
    b. Unifier la représentation multi vues par l'automatisation de la transformation de modèles
    c. Faire de la vérification automatique par la recherche de propriétés

Ces travaux de recherche sont menés en étroite collaboration avec des professionnels de santé. Ils ont donc été appliqués dans le cadre de deux centres hospitalier de nature et de tailles différentes : le CHU de Nice et le CH de Millau. Les premiers résultats, concernant un système particulier mais

aussi transversal à toute organisation de santé : le ‘Circuit du Médicament’, sont présentés dans le chapitre IV.

Chapitre IV : Application

1 Système étudié : le circuit du médicament

1.1 Définition

Le circuit du médicament (CM) en milieu hospitalier est l'un des système de soins les plus transversaux et structurants dans les établissements de santé [ALOUI *et al.*, 2006b].

Le CM est un système complexe dont la mission est de garantir la sécurité du patient et de dispenser, quelle que soit la configuration des services demandeurs ou la pression de l'environnement, le bon médicament au bon patient dans les bonnes conditions et au bon moment.

Il concerne donc tous les services du centre hospitalier. Il fait intervenir de nombreux acteurs, chacun ayant son point de vue, son niveau de responsabilité et ses exigences sur le fonctionnement, l'organisation et le risque au sein de l'organisation en place. Il permet de mettre à disposition une grande diversité de produits comme les chimiothérapies, les radios éléments ou encore des Médicaments Dérivés du Sang (MDS). Chaque étape du CM est ainsi une source potentielle d'erreurs pouvant mettre en jeu la sécurité des patients jusqu'au risque vital ou générer des dérives d'ordres financiers, éthiques, sociaux.

1.2 Cadre réglementaire

Le CM a ses propres obligations de moyens et de résultats. Il se caractérise par un fonctionnement particulier régis par des cadres réglementaires stricts. La lutte contre la iatrogénie, notamment médicamenteuse, est d'ailleurs l'une des 100 priorités définies par la nouvelle Loi de santé publique [LOI N° 2004-806, 2004], avec des objectifs précis de réduction de survenue des événements indésirables. Le CM constitue donc un maillon essentiel de la qualité à l'hôpital et de la sécurité sanitaire (pharmacovigilance) [LOI N° 98-535, 1998].

Ces bases réglementaires sont les suivantes :

- code des marchés publics en ce qui concerne les achats ;
- article R5194 du Code de la santé publique (CSP) en ce qui concerne la prescription ;
- article R5198 du CSP pour la délivrance ;
- article R5203 du CSP pour les médicaments de soins urgents ;
- arrêté n°99-249 du 31 Mars 1999 [DECRET NO 99-249, 1999] remplaçant l'arrêté du 9 Août 1991 relatif à la prescription, à la dispensation et à l'administration des médicaments soumis à la réglementation des substances vénéneuses dans les établissements de santé, les syndicats inter-hospitaliers et les établissements médico-sociaux disposant d'une pharmacie à usage interne ;
- article L5126-5 du CSP précisant les missions des Commissions du Médicament et des Dispositifs Médicaux Stériles (COMEDIMS).

Ces textes définissent par exemple les données qui doivent impérativement être mentionnées sur les prescriptions et sur les dossiers des patients.

Outre ces cadres réglementaires, il existe différentes recommandations comme les recommandations des ordres des pharmaciens ou les Bonnes Pratiques (BP) de prescription, de fabrication, de dispensation et d'administration (corps infirmier).

1.3 Gestion du risque et démarche qualité au sein d'un Centre Hospitalier

La gestion des risques et la gestion de la qualité au niveau du circuit du médicament sont basées sur une vigilance à l'échelle de l'institution à partir des informations recueillies par chaque service. Plusieurs organisations participent ou impactent cette gestion : la Commission des Médicaments et Dispositifs Médicaux Stériles (COMEDIMS) [LOI 5126-5 DU CODE DE LA SANTE PUBLIQUE, 17 janvier 2002], le Document Unique lié aux risques professionnels et enfin le service qualité qui a pour but de répondre aux exigences réglementaires et d'améliorer l'image des services de soins à l'intérieur comme à l'extérieur du centre hospitalier. Un grand nombre de difficultés découlent ainsi de la multiplicité des acteurs et des situations ainsi que de la problématique d'identification puis de déclaration des incidents.

Par exemple, un risque dans le circuit du médicament induira, outre l'impact direct sur le patient, une perte de performance en termes économique, de service rendu, de respect des contraintes et de satisfaction du client. Il faut alors fournir aux acteurs du CM les moyens permettant d'avoir une vision unifiée du système dans lequel ils sont impliqués, de détecter et de communiquer sans perte de sens la nature des causes ou de l'incident, d'anticiper et de gérer ces situations et les risques inhérents qu'elles entraînent.

Pour cela, le risque est abordé essentiellement par le biais de la vigilance sanitaire dont le rôle est de surveiller les incidents et les éventuels effets indésirables liés aux soins.

1.4 Terrains d'expérimentations

L'approche proposée dans ce qui précède a été mise en œuvre chez deux partenaires de ce projet de recherche dont les caractéristiques essentielles sont données ci-dessous.

La première collaboration concerne le CHU de Nice est née de la rencontre avec Rémy Collomp, pharmacien à l'hôpital Archet et doctorant à l'Ecole des Mines de Paris au sein du pôle Cindynique. Nos deux sujets de thèse traitant du risque en milieu hospitalier, Franck Guarnieri, directeur de la formation doctorale, a jugé opportun de nous mettre en relation.

La seconde collaboration concerne le Centre Hospitalier intercommunal du Sud-Aveyron (CH de Millau) et a été initié par Vincent Chapurlat.

1.4.1 Le Centre Hospitalier Universitaire de Nice

Le Centre Hospitalier Universitaire de Nice est un établissement public de santé. Il déploie son activité sur cinq sites : Pasteur, l'Archet, Saint-Roch, Cimiez et Tende. Le CHU est un des agents économiques les plus importants de la région PACA. Il s'agit en effet du deuxième employeur des Alpes-Maritimes. Trois personnes sur quatre participent directement à la prise en charge du patient.

Admissions Journées	**72 000 patients**
Séances	56 000
Consultations	640 000 patients
Interventions opératoires	25 000 interventions
Actes d'exploration	32 000 actes
d'hospitalisation	490 000 actes
Personnel	850 personnes
Personnel non médical	5350 personnes

Tableau 16. Le CHU de Nice en chiffres

L'activité consultation : les consultations illustrent à la fois l'ouverture de l'hôpital sur la ville et la qualité de la prise en charge des patients du CHU. Leur nombre augmente depuis plusieurs années, pour représenter plus de 25000 consultations par jour. Les activités sont regroupées par site et au sein de chaque site par pôles médicaux et chirurgicaux complémentaires.

1.4.2 Hôpital Archet

L'ensemble Archet 1 et Archet 2 accueille :

- le pôle de spécialités médicales : réanimation médicale, dermatologie, vénérologie, médecine interne, hématologie clinique, endocrinologie et repro-lipidologie, infectiologie,
- le pôle locomoteur : orthopédie, rhumatologie, médecine et réadaptation,
- le pôle femme-mère-enfant : gynécologie-obstétrique et médecine de la reproduction, pédiatrie médicale, chirurgie infantile, biologie de la reproduction et médecine fœtale,
- les urgences pédiatriques, gynécologiques et obstétricales,
- le pôle digestif : maladies de l'appareil digestif, hépato-gastro-entérologie, chirurgie générale et chirurgie digestive, transplantation hépatique,
- un centre d'orthogénie,
- un plateau technique : laboratoires, blocs opératoires, imagerie par résonance magnétique, scanner, centre de radiodiagnostic, Petscan…
- une pharmacie à usage intérieur (PUI).

1.4.3 Fonctionnement du CM au CHU de Nice

A l'hôpital Archet 1, le mode de fonctionnement de la pharmacie est basé sur un système de distribution nominative. Cela consiste en une délivrance de doses individualisées par la pharmacie au nom d'un patient qui s'effectue pour plusieurs jours (de 2 à 5 jours) ou quotidiennement (délivrance journalière individuelle nominative ou DJIN). En complément de ces systèmes de dispensation nominative, sont associés :

- Les dotations pour besoins urgents : Elaborées pour assurer la compatibilité des organisations et la sécurité, elles doivent permettre l'instauration d'un traitement urgent 24h/24. Bien définies réglementairement par l'arrêté du 31 mars 1999, ces dotations doivent correspondre à une liste qualitative et quantitative fixée *a priori* conjointement par le pharmacien et le médecin responsable de l'unité de soins. Leur renouvellement doit se faire sur présentation des justificatifs des utilisations. Leur gestion est sous la responsabilité du pharmacien.
- Les chariots d'urgence : le principe est le même que celui des dotations pour besoins urgents mais concerne les médicaments nécessaires pour pouvoir répondre aux urgences vitales. Par souci de sécurité notamment face au turn-over des agents, il est fortement recommandé que son contenu soit défini dans le cadre d'une politique d'établissement et identique quel que soit le service de soins.

1.4.4 Le Centre Hospitalier intercommunal du Sud-Aveyron

1.4.4.1 Plusieurs sites

Le Centre Hospitalier intercommunal du Sud-Aveyron se situe au 265, boulevard Achille-Souques 12100 Millau. C'est un établissement public. Il emploi environ 1100 personnes et a une capacité de 716 lits. Le centre se répartit sur 5 sites (Tableau 17).

Site	Spécialité
Millau : Site de Puits-de-Callès	Médecine, Chirurgie, Obstétrique, moyen séjour
Millau : Site d'Ayrolle	Long séjour, psychiatrie adulte et pédopsychiatrie
Millau : Site de Sainte-Anne	Long séjour et psychiatrie de jour
Millau : Site Saint-Michel	Long séjour
Saint-Affrique (35 km de Millau)	Médecine, Chirurgie, Obstétrique, moyen, long séjour et psychiatrie de jour

Tableau 17. Répartition des spécialités au CH de Millau

1.4.4.2 Fonctionnement du CM à Millau

Au centre hospitalier de Millau, le mode de fonctionnement est basé sur la distribution globale. C'est le modèle le plus ancien en France et qui ne devrait plus exister en théorie puisque depuis 1991, la réglementation imposant une distribution nominative. Ce système se caractérise par l'absence de validation pharmaceutique. La pharmacie d'établissement joue le rôle de grossiste répartiteur assurant le réapprovisionnement des « *pharmacies de services* » propre à chacun des services. A partir de la mise à disposition des médicaments dans les pharmacies de services, la traçabilité n'est plus possible puisque le personnel infirmier y puise en fonction des prescriptions. Néanmoins, les systèmes globalisés et nominatifs cohabitent soit en fonction de la nature des médicaments (par exemple, délivrance individuelle uniquement pour les médicaments coûteux, dangereux ou nécessitant un suivi des indications, tels les cytostatiques, antibiotiques), soit en fonction des services selon la durée de séjour.

Certains médicaments suivront un circuit particulier lié à leurs exigences spécifiques. Ce sont :

- les stupéfiants et les médicaments dérivés du sang (MDS) (système obligatoire de dispensation individuelle associé au système de dotation pour besoins urgents), chacun avec des supports particuliers,
- Les chimiothérapies,
- les Dispositifs Médicaux Stériles Implantables (DMSI),
- Les chariots d'urgence qui concernent les médicaments nécessaires pour pouvoir répondre aux urgences vitales.

2 Mise en œuvre de l'approche

L'étude présentée ci-dessous a été, pour des raisons de confidentialité évidentes, simplifiée et modifiée de manière à la rendre neutre et impersonnelle mais pour permettre toutefois de tester l'approche. Les différentes entités de modélisation (processus, activités, ressources, etc.) des deux organisations étudiées se mêlent pour mettre en avant l'intérêt de la démarche. Cette étude décrit ainsi simplement les grandes lignes de la phase de modélisation et une analyse avec une série de propriétés.

2.1 Modélisation d'un Centre Hospitalier

2.1.1 Cadrage du système

Lors du cadrage nous allons cerner les contours de l'étude, les acteurs qui interagissent extérieurement ou qui participent au système ainsi que les objectifs de l'étude. A partir des données recueillies lors d'interviews des différents acteurs (personnel de la pharmacie, cadres infirmiers, et médecins), Cela va permettre d'orienter le modeleur et ainsi nous pouvons commencer à modéliser le système Circuit du Médicament (CM).

2.1.1.1 Objectifs poursuivi par l'étude

Dans le système Circuit du Médicament des fautes ou des erreurs peuvent provoquer des pertes de performance et des dommages pour le patient. L'objectif est de détecter les faiblesses actuelles du système et, en collaboration avec les experts du domaine tenter d'apporter des solutions.

2.1.1.2 Environnement du système

Nous allons décrire l'environnement dans lequel le CM se situe en termes d'entrées/sorties de haut niveau d'abstraction (Figure 69 et Tableau 18).

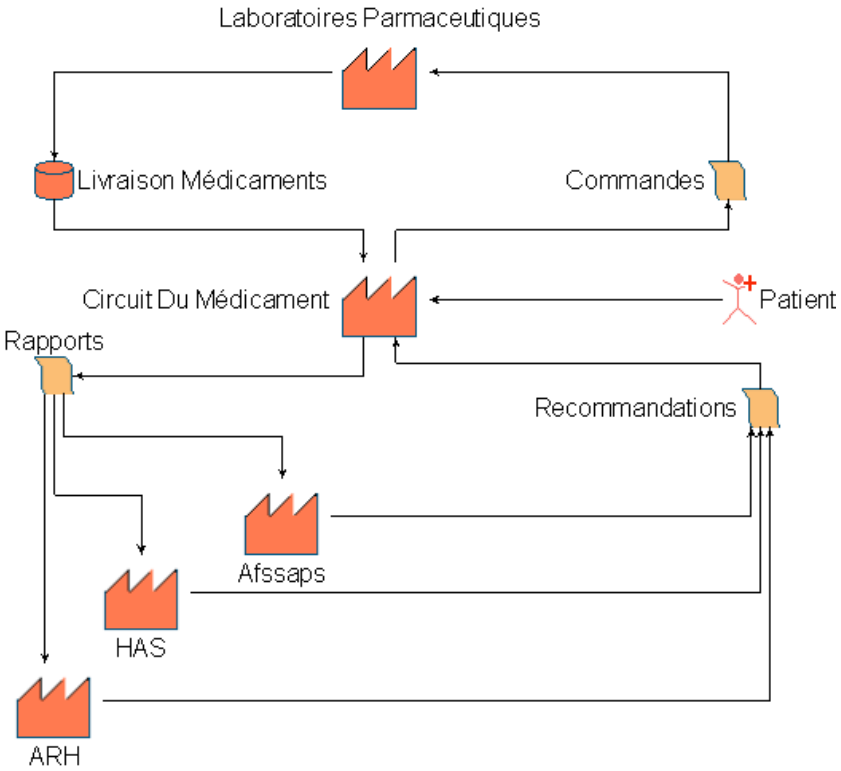


Figure 69. Environnement du système (Langage UEML)

La figure précédente décrit l'environnement de l'étude, nous avons identifié les partenaires du système Circuit du Médicament. La Figure 70 décrit la nature des icônes sélectionnées lors de la modélisation.

Figure 70 . Légende des icones utilisées pour modéliser le système

Partenaires		**Entrées/Sortie**			
Nom	**Type de partenaire**	**Nom**	**Type (E/S)**	**Nature**	**Objectifs**
Laboratoires	Fournisseurs	Livraisons Médicaments	Entrée	Matière	
		Bon de Commande	Sortie	Information	
HAS	Institutionnel	Recommandations	Entrée	Information	
		Rapports	Sortie	Information	
Afssaps	Institutionnel	Recommandations	Entrée	Information	
		Rapports	Sortie	Information	
ARH	Institutionnel	Recommandations	Entrée	Information	
		Rapports	Sortie	Information	
Patient	Client		Entrée/Sortie	Client	Qualité et rapidité des soins

Tableau 18. Les partenaires et les E/S du système

2.1.2 Vue fonctionnelle

La Figure 71 qui est une représentation partielle montre le raffinement des objectifs. C'est un arbre d'objectif qui a été construit en partant du manuel d'accréditation de la HAS. Pour obtenir l'accréditation « V2 » chaque établissement de soin doit satisfaire une série de références elles-mêmes déclinées en sous références.

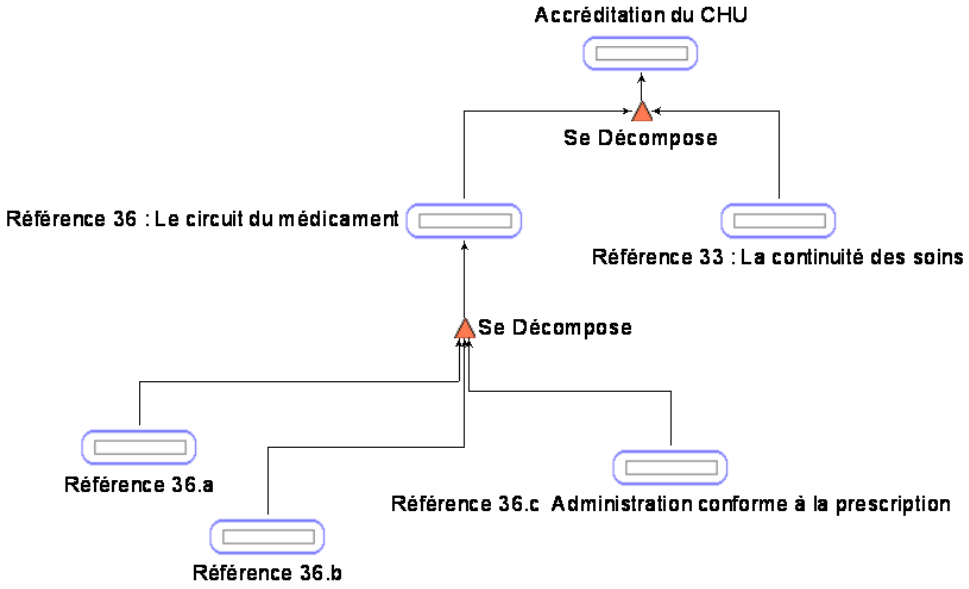


Figure 71. Objectifs du système Circuit du Médicament

2.1.3 Vue structurelle

2.1.3.1 Ressource et organisation

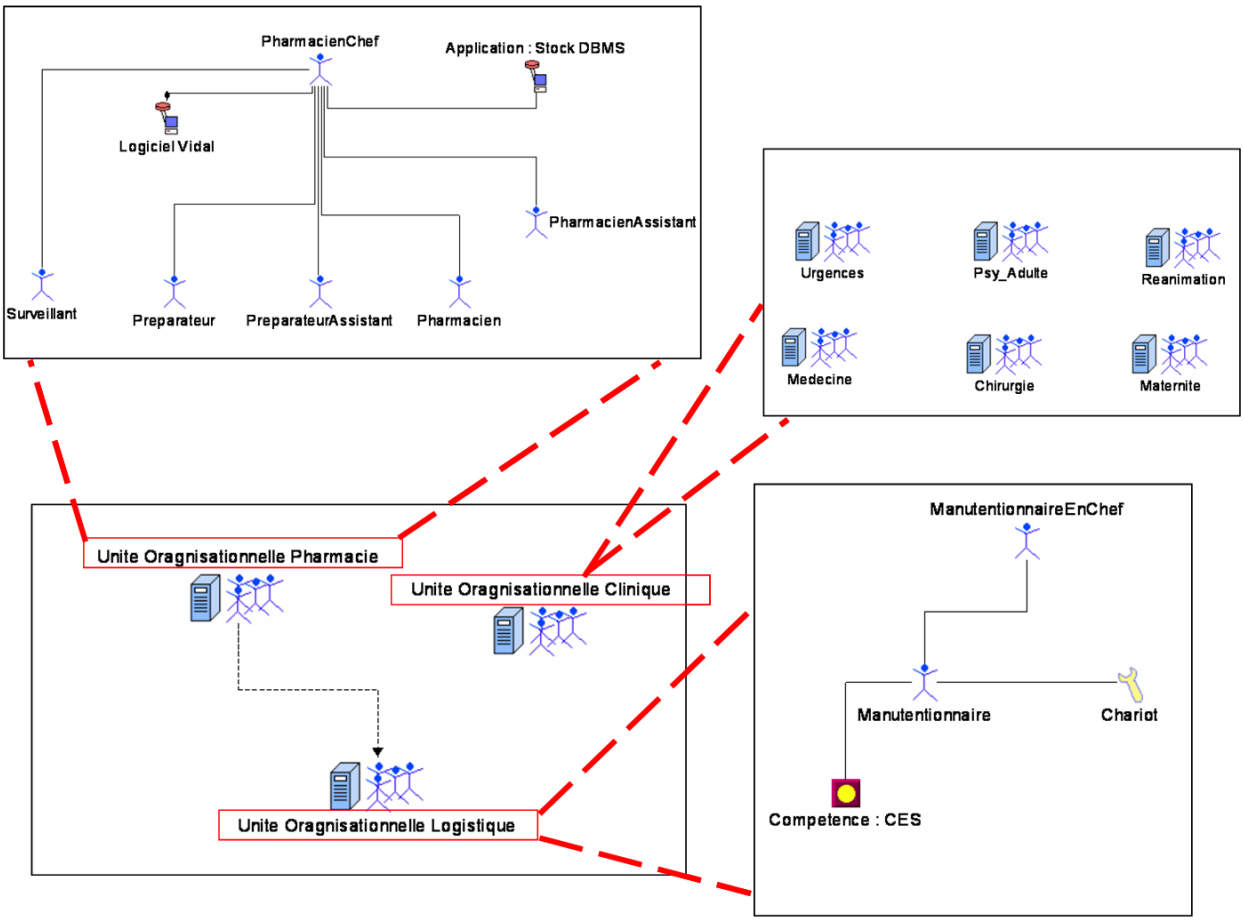


Figure 72. Les ressources et leur organisation

Nous distinguons trois unités organisationnelles. L'unité clinique qui se décompose en plusieurs autres unités organisationnelles suivant le type de pathologie à traiter ou la nature de l'intervention médicale (chirurgie, psychiatrie, etc.). Ces unités sont elles même composées et organisées autour de ressources humaines, matérielles et applicatives. L'unité organisationnelle Pharmacie qui a autorité sur l'unité organisationnelle Logistique. Ces deux unités se décomposant en ressources possédant des liens de type la ressource A est responsable de la ressource B, cette décomposition permet de voir la hiérarchie entre les ressources, notamment humaines. La Figure 73 indique la légende des icônes utilisés pour la modélisation.

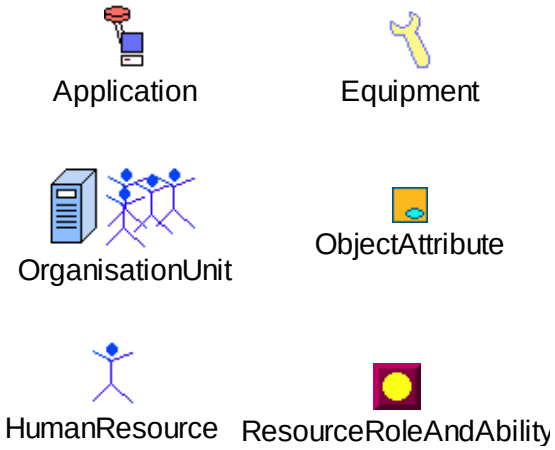


Figure 73. Légende des icônes utilisées pour modéliser les ressources

2.1.3.2 Processus

Le CM peut se représenter sous la forme de 4 processus principaux : le diagnostic, la préparation, le transport, l'administration. La préparation peut elle-même être considérée comme une sous activité soit de la préparation (si effectuée au niveau de la pharmacie) soit de l'administration (si effectuée par le personnel infirmier). Dans le cas présenté, la préparation est effectuée par le personnel infirmier au niveau des services. Cette description de son fonctionnement est communément admise [SOCIETE FRANÇAISE DE PHARMACIE CLINIQUE, 1997]. Elle a toutefois été complétée par le processus de suivi du patient. Elle permet ainsi d'avoir une première idée des ressources concernées et de leurs rôles ainsi que l'identification des premiers risques menaçant le système (Figure 74).

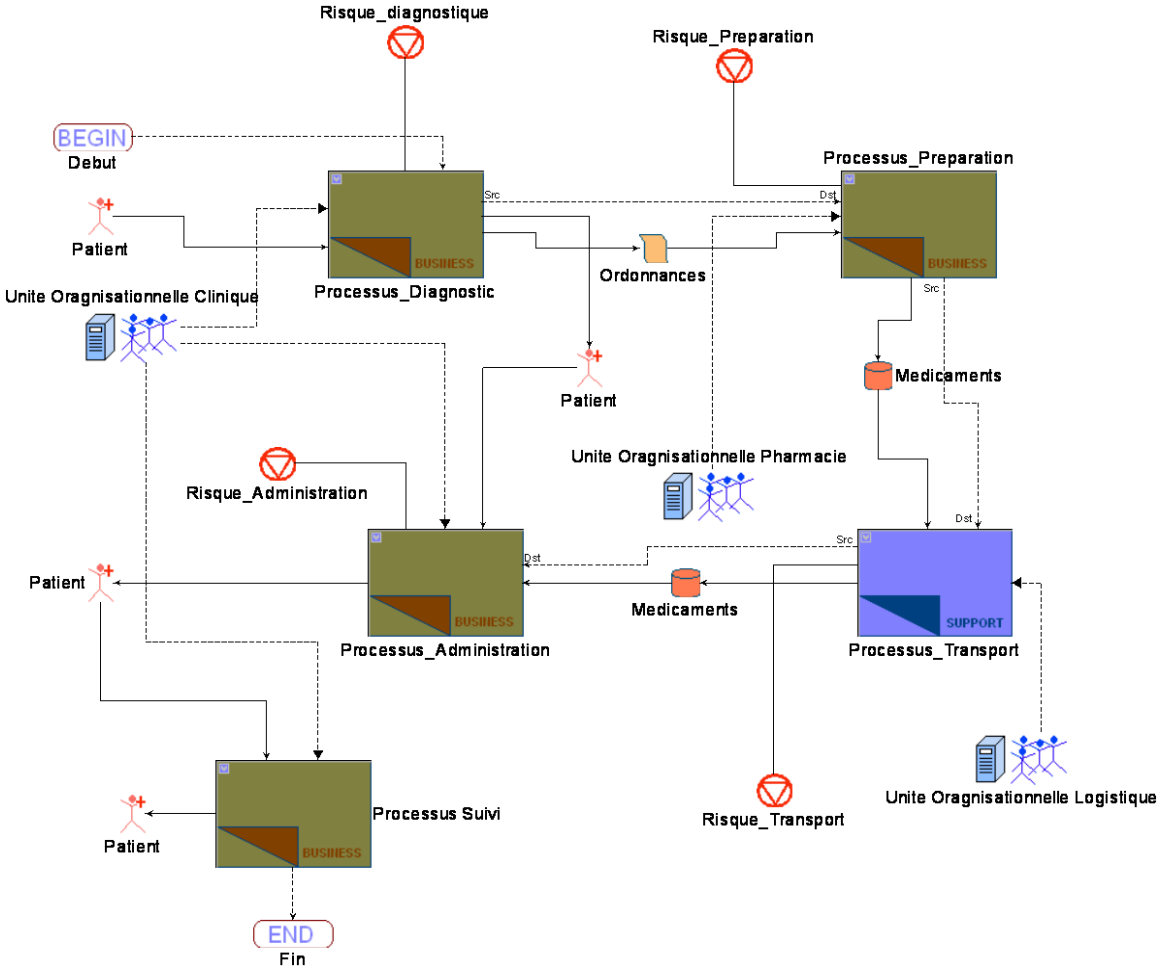


Figure 74. Le circuit du médicament (Langage eFFBD)

Chacun des processus du circuit du médicament peut être vue comme étant lui-même un système à risque. On prendra en compte tout particulièrement le risque iatrogène médicamenteux qui se divise ici en deux catégories :

- les effets secondaires inévitables car liées aux effets pharmacologiques indésirables de certaines molécules,
- les erreurs liées à la réalisation d'une procédure ou d'une intervention, les erreurs de prévention et de surveillance. C'est le risque le plus important.

2.1.4 Vue comportementale

2.1.5 Les scénarios et les configurations

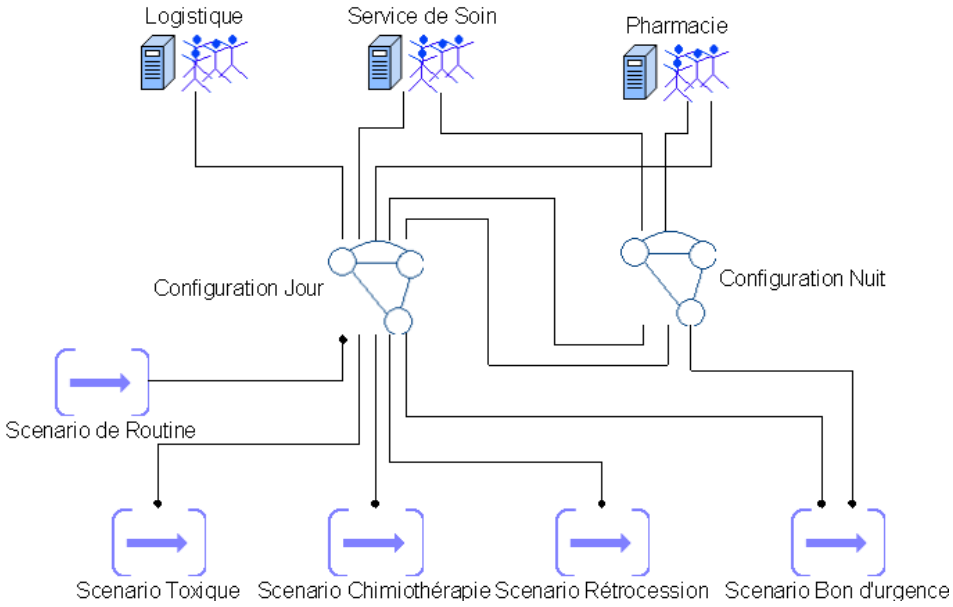


Figure 75. Scénarios et configurations

Seules deux configurations ont été retenues dans le cas présent : une pour décrire les équipes de jour et une pour décrire les équipes de nuit. Cela comprend les gardes de l'équipe pharmacie la nuit et les week-ends. Ces configurations sont étroitement liées aux possibilités de voir se dérouler certains scénarios opérationnels décrits dans la suite de ce document. Elles concernent trois unités organisationnelles : la logistique, le service de soin et la pharmacie.

5 scénarii ont été identifiés :

- Routine : concerne le cas courant de prescription et de délivrance des médicaments, il assure de manière quotidienne l'approvisionnement des services en médicaments.
- Toxique : il concerne les stupéfiants et les médicaments dérivés du sang (MDS) qui possèdent un système obligatoire de dispensation individuelle avec des supports particuliers (ordonnances sécurisées).
- Chimiothérapie : il concerne la préparation des préparations magistrales et des médicaments de type chimiothérapie.
- Bon d'urgence : médicaments non disponible dans les services et délivrer en urgence, peut, cela peut correspondre à une configuration « nuit »
- Rétrocession : vente de certains types de médicaments à des patients non hospitalisé, par exemple les médicaments dangereux nécessitant une administration à l'hôpital

Dans la suite de cet exemple, les scénarios correspondant à la Routine et aux Toxiques vont être développés, le diagnostic, la préparation, le transport, l'administration seront modélisés.

2.1.5.1.1.1 Scénario Routine

2.1.5.1.1.2 La prescription

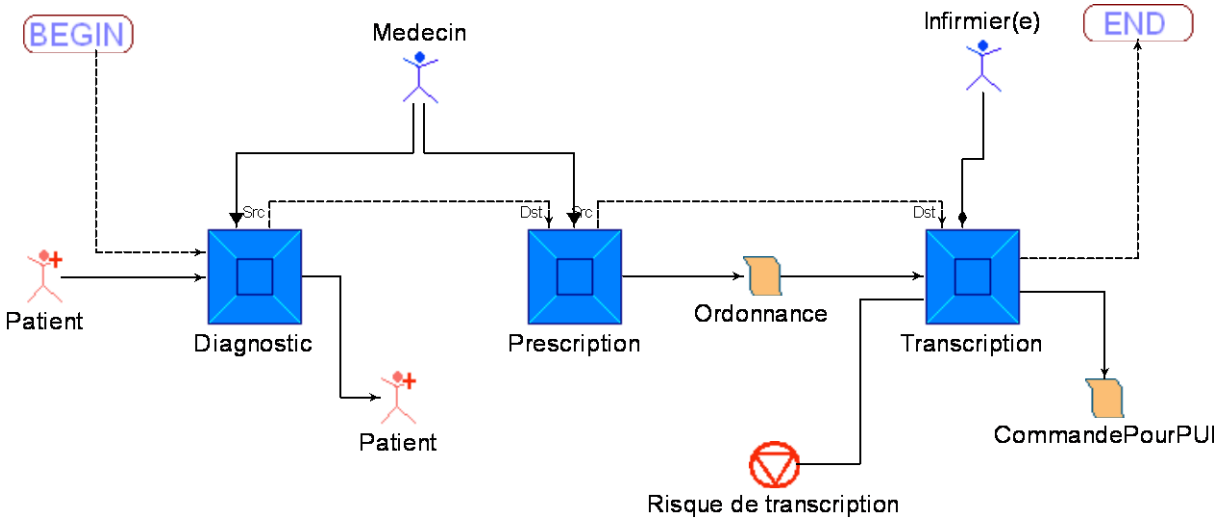


Figure 76. Processus Diagnostic

Dans ce scénario, le risque principal concerne l'activité de transcription. En effet, l'ordonnance initiale du médecin est réécrite et cela afin de fournir une commande globale à la pharmacie. Cette activité peut générer des dysfonctionnements lies à l'information tels que :

- L'information recopiée ne correspond pas à l'information initiale
- L'information est incomplète
- L'information est erronée

2.1.5.1.1.3 La dispensation

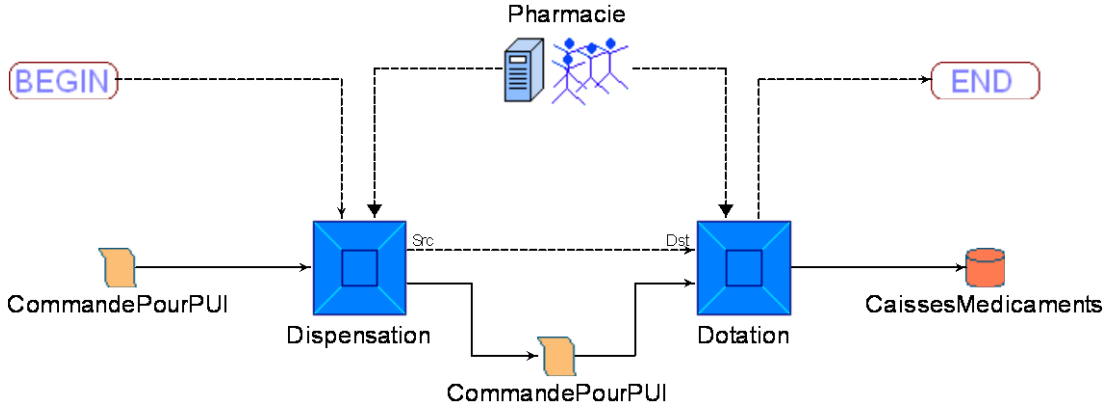


Figure 77. Processus de dispensation

Dans un fonctionnement réglementaire, le pharmacien doit faire une analyse de l'ordonnance. Cette analyse pharmaceutique a une place importante dans le monitorage pharmaco-thérapeutique du patient et consiste à vérifier, d'une part, la conformité de celle-ci sur le plan réglementaire, d'autre part, sa validité sur le plan pharmaceutique quant à la posologie, pharmacologie et à la clarté de l'utilisation du ou des médicaments. Ensuite, une opinion pharmaceutique peut éventuellement être rédigée à destination du prescripteur ou du personnel infirmier avec pour but l'optimisation de l'usage du médicament. Dans ce fonctionnement en dotation globale, le pharmacien ne peut pas effectuer cette analyse d'où les risques de non-conformité réglementaire et des risques pour le patient.

2.1.5.1.1.4 Le transport

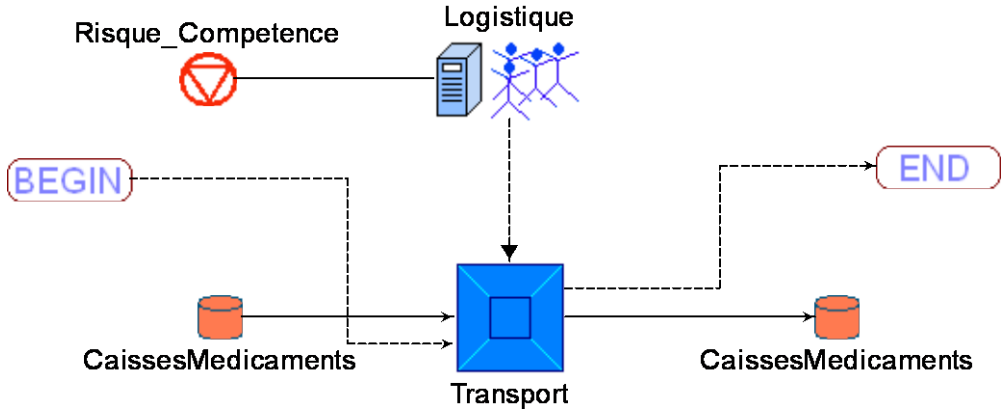


Figure 78. Processus de Transport

Dans le cas d'un des deux exemples traités le transport est effectué par des agents non titulaires. Le transport se fait dans des caisses non sécurisées. Il y a donc des risques au niveau de cette activité tels que :

- des pertes de caisse,
- des dégradations (produit froid),
- livraison au mauvais service,
- non traçabilité.

2.1.5.1.1.5 L'administration

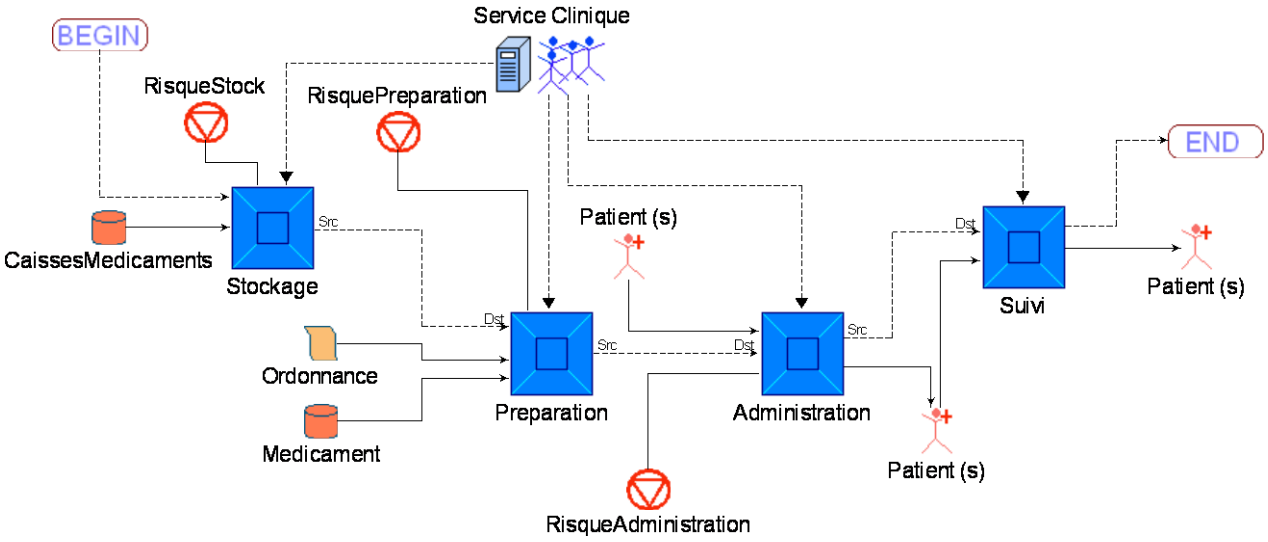


Figure 79. Processus d'administration et de suivi

C'est le processus qui comporte le plus de risques. En effet, chaque activité peut être génératrice de dysfonctionnements qui peuvent s'additionner.

- <u>Activité de stockage :</u>

  - Stock trop important, risque de confusions entre les différentes spécialités.
  - La gestion des stocks est coûteuse, beaucoup de pertes sont envisageables au niveau des périmés notamment.

- Activité de préparation :
  - Effectuée par le personnel infirmier au niveau des services, il y a des risques notamment au niveau des injectables comme décrit dans la Figure 80.
  - Erreurs potentielles lors de la répartition des médicaments.
- Activité d'administration :
  - L'infirmière qui prépare les médicaments n'est pas forcément celle qui les administre au patient. Il y a donc des risques d'erreurs.
  - Les patients peuvent amener leurs propres médicaments, risque au niveau des interactions médicamenteuses.

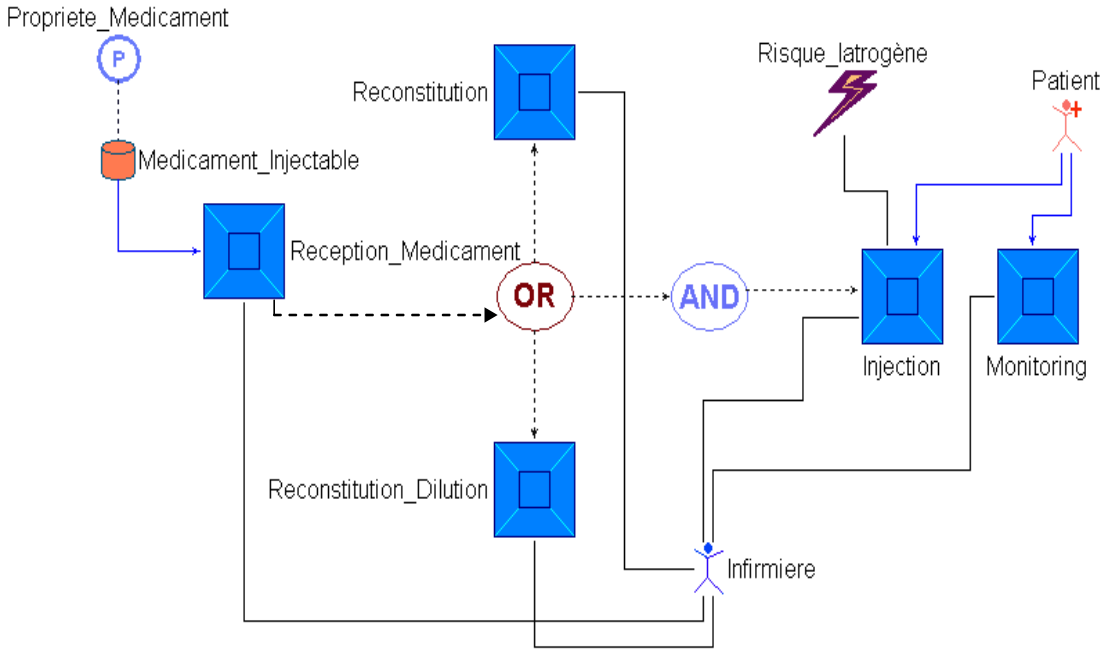


Figure 80. Scénario Administration des Médicaments Injectables (représentation partielle).

L'infirmière en charge d'administrer l'injection se trouve face à trois choix :

1. Le médicament reçu est prêt à l'emploi pour une injection directe
2. Le médicament est à reconstituer (avec un solvant déterminé)
3. Le médicament doit être reconstitué puis dilué

2.1.5.1.2 Scénario toxique

2.1.5.1.2.1 La prescription

Les toxiques sont prescrits sur des ordonnances spéciales dites sécurisées. L'ordonnance est transportée par un personnel habilité à la pharmacie. Pour les stupéfiants (les injectables), l'infirmière responsable doit retourner les ampoules usagées.

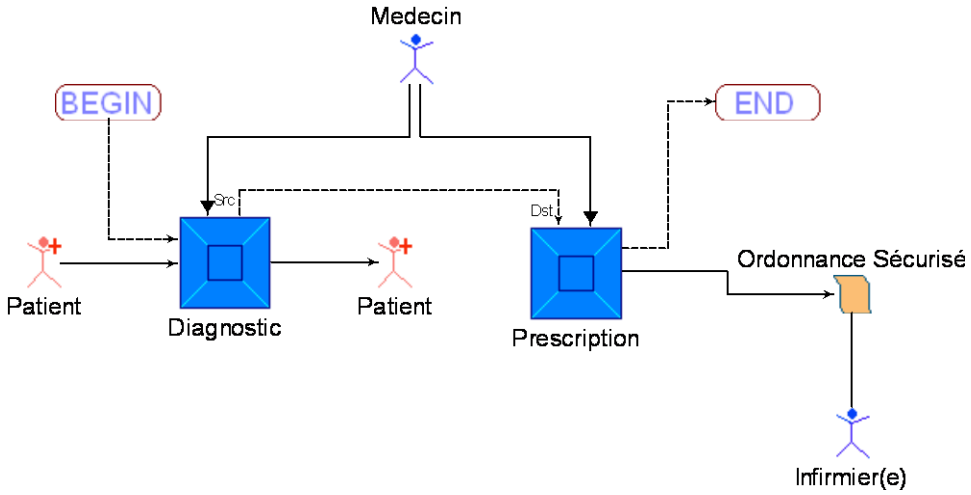


Figure 81. Prescription pour les toxiques (langage eFFBD)

2.1.5.1.2.2 La dispensation et le transport

L'ordonnance est transmise à la pharmacie par une infirmière habilitée. Le pharmacien vérifie la validité réglementaire de l'ordonnance puis la validité thérapeutique. La Figure 82 montre ces deux activités avec leurs entrées et leurs sorties.

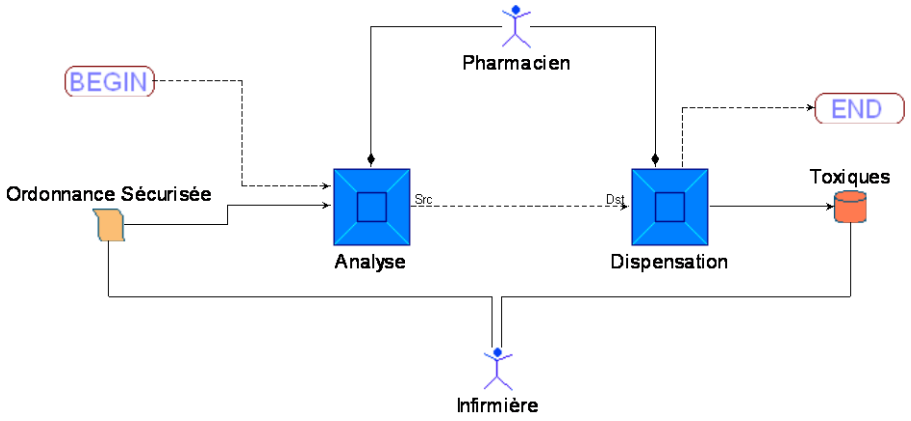


Figure 82. Dispensation des toxiques (langage eFFBD)

Le transport est effectué par l'infirmière qui a récupéré la spécialité.

2.1.5.1.2.3 L'administration

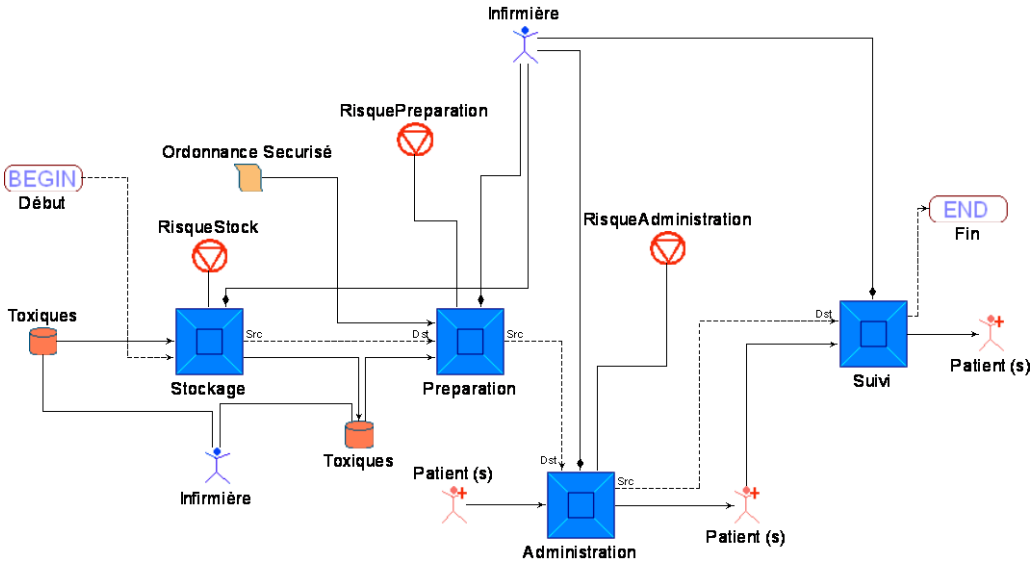


Figure 83. Administration des toxiques (langage eFFBD)

Remarquons qu'il existe deux types de stocks de toxiques, notamment les stupéfiants. Un stock se trouve au niveau de la pharmacie et un autre se trouve au niveau des services. Les stupéfiants doivent être stockés dans des coffres solides suffisamment grands pour contenir toutes les spécialités. Suivant le type de spécialité, le personnel chargé de l'administration pourra se servir dans le stock. La préparation est effectuée par le personnel infirmier au niveau des services. Il y a donc des risques inhérents au stockage de ces produits.

2.1.6 Les propriétés

Dans l'exemple considéré, suite au cadrage du système un certain nombre de propriétés ont été identifiées. Dans la suite nous allons considérés les propriétés système et les propriétés liées à des Déficits Systémiques Cindynogènes.

2.1.6.1 Propriétés système

Dans le cadre d'un système de santé, le cadre réglementaire est si strict que les propriétés systèmes sont à considérer en priorité. Notamment celles issues du référentiel HAS telle que la référence 36 présentée dans le Tableau 19 et concerne le circuit du médicament.

Référence 36	**Les circuits du médicament et des dispositifs médicaux stériles sont organisés en concertation entre les professionnels de la pharmacie et ceux des autres secteurs.**
R36.1	36.a. Les conditions de prescription, de validation, de dispensation et d'administration des médicaments et des dispositifs médicaux stériles sont maîtrisées afin de réduire le risque iatrogène évitable.
R36.2	36.b. L'utilisation des médicaments suit les recommandations de bonne pratique en termes de pertinence de l'indication, de respect des contre-indications, et de connaissance des interactions et effets secondaires.
R36.3	36.c. L'administration du médicament au patient est conforme à la prescription et fait l'objet d'une traçabilité.
R36.4	36.d. Les informations sur les conditions d'utilisation des médicaments et des dispositifs médicaux stériles sont à la disposition des utilisateurs.
R36.5	36.e. Les demandes urgentes de médicaments peuvent être satisfaites à tout moment.

Tableau 19. Détail de la référence HAS numéro 36

Nous allons nous intéresser à la référence **36.c** : *L'administration du médicament au patient est conforme à la prescription et fait l'objet d'une traçabilité*, qui peut être interprétée comme suit : « *Toute les activités réalisées par du personnel médical et qui concernent le patient doivent avoir en sortie une trace de type informationnel (document écrit, informatique, etc.)* »

Propriété Système : PS36C			
Toute les activités réalisées par du personnel médical et qui concernent le patient doivent avoir en sortie une trace de type informationnel (document écrit, informatique, etc.)			
Cause	**Relation de causalité**	**Effet**	**Niveau de détail**
L'activité qui a comme ressource du personnel médical et comme entrée le patient	implication	émission d'information	Points de vue de modélisation

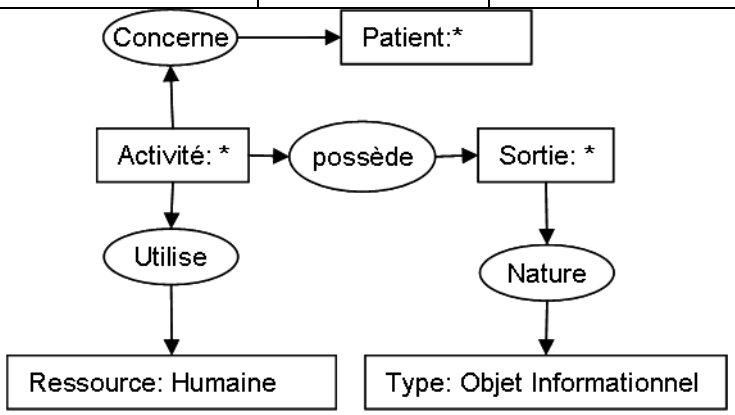


Tableau 20. Propriété système issue du référentiel HAS - PS36C

En ce qui concerne les propriétés caractérisant le risque, nous reprenons l'exemple cité plus haut de la propriété d'origine organisationnelle associé à la vue *Structure* dans le point de vue Pro*cessus : « chaque processus a un responsable clairement désigné ».*

2.1.6.2 Propriétés liées aux déficits

Nous allons traduire une partie des propriétés présentées dans le référentiel décrit dans le Tableau 9, page 62 et partiellement rappelé dans le tableau ci-dessous. Ces déficits sont ceux liées à la culture de non communication rapportés dans notre cadre de modélisation.

Cadre de référence		DSC3 : Culture de non communication
Structure	Processus & activités	▪ E/S de type information d'une activité doit être générée et/ou utilisée par une autre activité o qualité de l'information constante. Elle est compréhensible et décrite en respectant les normes et procédures en vigueur o information doit être caractérisée par une durée de vie (période au bout de laquelle elle peut être remise en cause) ▪ cloisonnement o activités indépendantes et non pilotées o processus supports mal ou peu pris en compte, prévenus, anticipés
	Organisation & Ressource	▪ cloisonnement o Physique : Géographie du site ou par service o Métier : par catégorie socio professionnelle ▪ Disponibilité & Compétence o pour écrire l'information, en prendre connaissance ou la diffuser

Tableau 21. Référentiel de propriété liée au déficit de non communication (DSC3)

Propriété liée au DSC 3 : les E/S au niveau des processus			
Les E/S de type information d'une activité doit être générée et/ou utilisée par une autre activité.			
Cause	Relation de causalité	Effet	Niveau de détail
Une activité qui a comme sortie un objet de type informationnel	implication	Cette sortie de type informationnel doit être en entrée d'une autre activité	Points de vue de modélisation

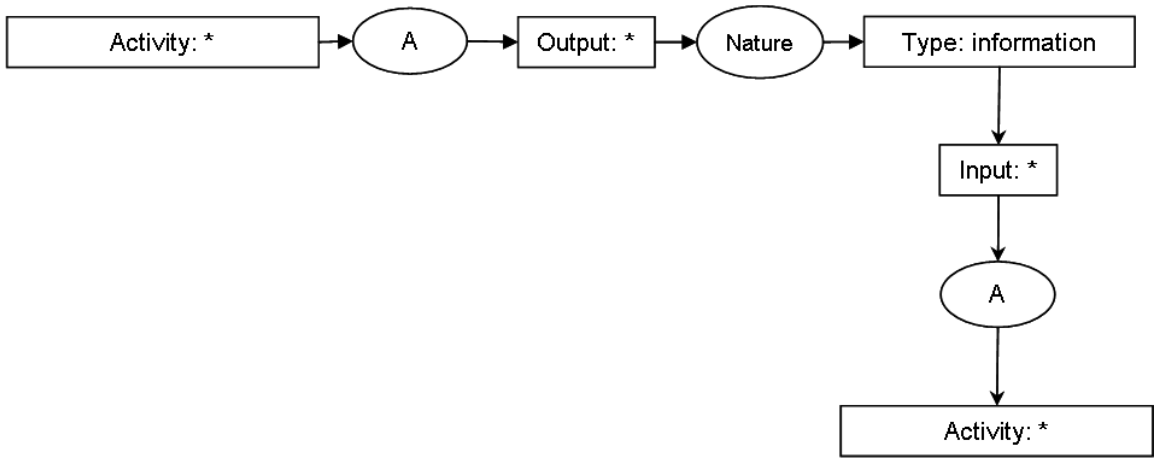


Tableau 22. DSC 3 : Propriété liée aux Entrées/Sorties

Propriété liée au DSC 3 : les E/S de type informationnel au niveau des processus			
Les E/S de type information d'une activité doit avoir un certain nombre de caractéristiques (normes, durée de vie, niveau de confidentialité, etc.)			
Cause	Relation de causalité	Effet	Niveau de détail
L'E/S de type informationnel doit avoir des attributs (temps)	implication	L'attribut est clairement exprimé	Points de vue de modélisation

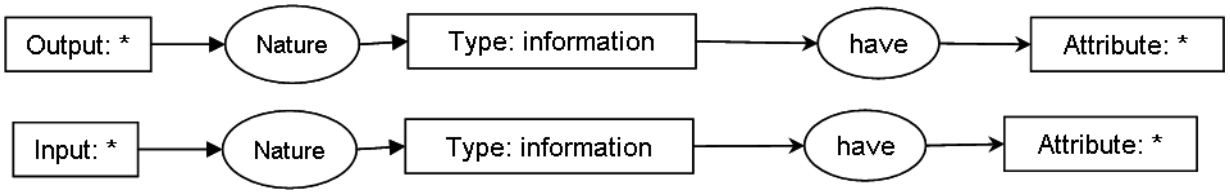


Tableau 23. DSC 3 : Propriété liée aux Entrées/Sorties de type informationnel

Propriété liée au DSC 3 : Compétence au niveau des ressources			
Les activités de type transport de médicament sont effectués par des manutentionnaires habilités			
Cause	Relation de causalité	Effet	Niveau de détail
Activité de type transport médicament	implique	Manutentionnaire habilité ou senior	Points de vue de modélisation

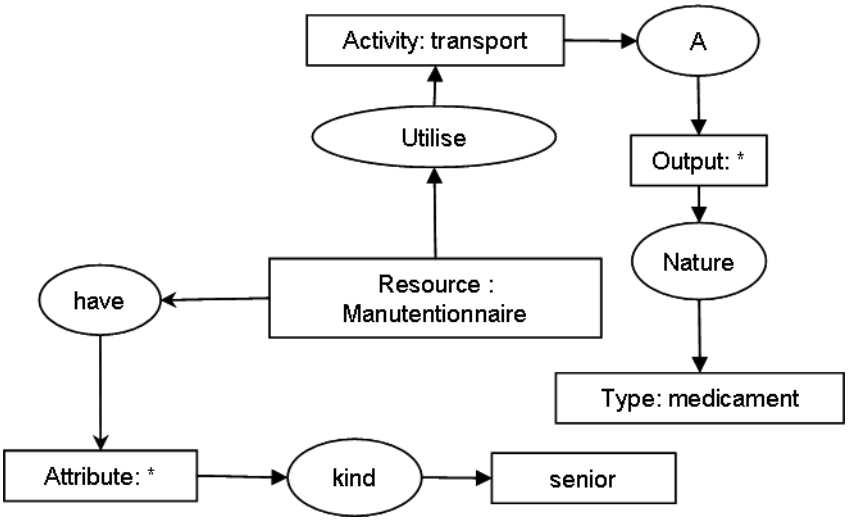


Tableau 24. DSC 3 : Compétence des ressources

Propriété liée au DSC 3 : disponibilité de la ressource pour lire l'information			
Disponibilité pour écrire l'information, en prendre connaissance ou la diffuser			
Cause	Relation de causalité	Effet	Niveau de détail
Une activité qui a en entrée un flux de type objet informationnel	implique	Ressource dans l'état disponible	Points de vue de modélisation

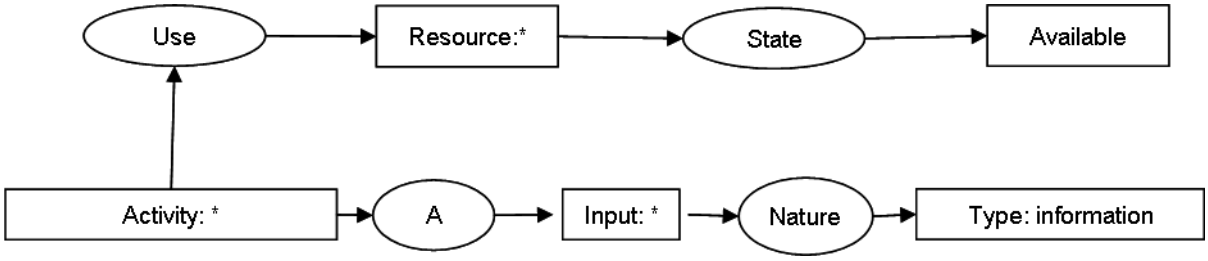


Tableau 25. DSC 3 : Compétence des ressources

2.2 Analyse

L'approche développée permet ainsi d'avoir une représentation multi vues et multi niveaux du système étudié. Cette représentation se traduit par plusieurs modèles interconnectés, soit par une relation verticale (hiérarchique) (granularité plus ou moins fine d'une partie du système), soit par une relation horizontale traduisant les liens entre les différentes vues d'un même objet. Deux niveaux d'analyse sont présentés ici, le premier consiste à étudier les modèles avec les professionnels de santé et le second consiste à utiliser la preuve de propriété.

2.2.1 Analyse des modèles en collaboration avec les professionnels

Les professionnels de santé qui sont au cœur du processus de soin ont une vision très pertinente de leurs limites et des défauts du système. Ainsi lors des interviews et des discussions basées sur les modèles un certain nombre de risque ont été identifiés. En effet, les modèles ont servi d'aide à l'élaboration et à la structuration des idées, c'est un support au raisonnement. Cela permet de filtrer la complexité réelle en restreignant le niveau de détail sous lequel le problème doit être étudié et résolu. Elle sert à faciliter les échanges entre personnes différentes en donnant une vision externalisée et cohérente du système étudié [DARRAS *et al.*, 2003 ; BPMS, 2007 ; CXP, 2007].

2.2.2 Preuve de propriété

Dans ce cas l'analyse va consister à mettre en œuvre les techniques de preuves que nous autorisent les Graphes Conceptuel décrites dans ce manuscrit. La Figure 84 dévoile leur utilisation dans l'exemple du circuit du médicament.

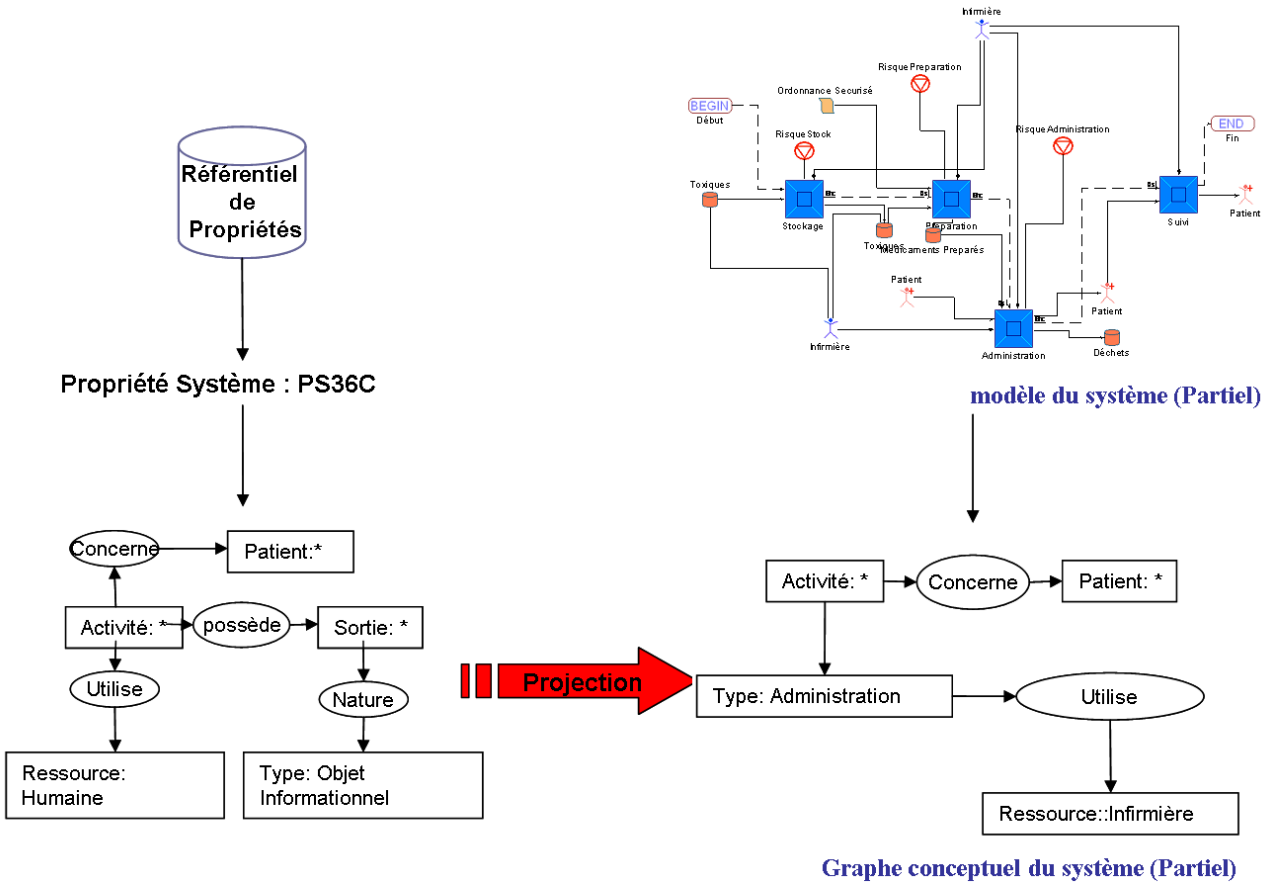


Figure 84. Preuve de propriété par l'utilisation d'une projection

Cet exemple décrit la façon dont le modèle est réécrit en Graphe Conceptuel. Ensuite, en utilisant la projection, nous recherchons si l'information correspondant à la propriété système 36.c est présente ou non dans le modèle.

Dans le cas présent, la projection a échoué et la propriété n'est donc pas vérifiée puisque l'activité administration n'a pas de sortie de type informationnelle. La non véracité de la propriété entraîne deux interrogations :

- Le modeleur a-t-il commis une erreur ? dans ce cas, le modèle est à corriger
- Est-ce une opportunité de risque ? dans ce cas, l'information est transmise aux professionnels de santé.

Dans la suite nous allons utiliser l'opération de contrainte sur le graphe pour vérifier la propriété qui dit que : « *Les activités de type transport de médicament sont effectués par des manutentionnaires habilités* ». La Figure 85 décrit l'utilisation de cette opération de graphe.

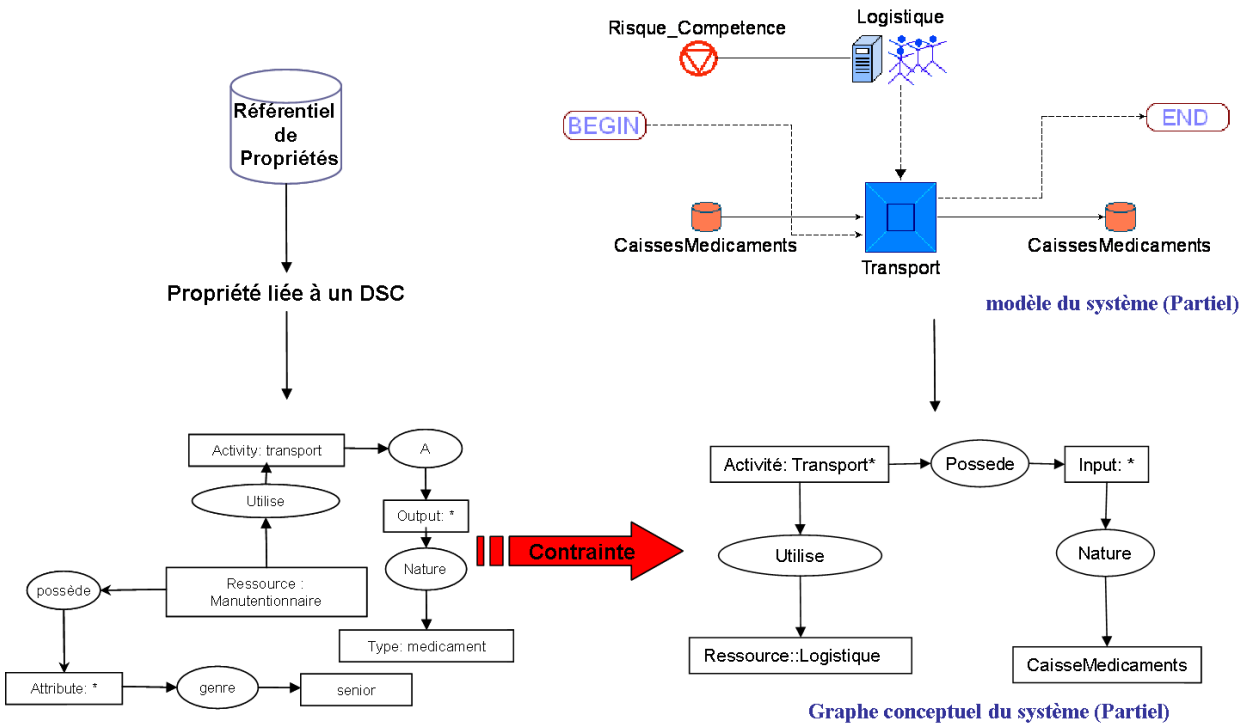


Figure 85. Preuve de propriété par l'utilisation d'une contrainte

2.2.3 Conclusion

Suite à l'analyse, un certain nombre de risques ont été identifiés par le biais d'une part de l'étude des modèles avec les professionnels de santé et d'autre part par l'analyse par preuve de propriété.

L'utilisation de l'approche développée a permis d'offrir dans un premier temps une vision d'ensemble du système Circuit du Médicament, les acteurs présents à différents niveaux et participant à ce système peuvent ainsi partager une vision commune et cohérente. Dans un second temps l'analyse par preuve de propriété permet de vérifier de manière rapide l'ensemble des propriétés identifiées dans la phase de modélisation et ainsi mettre à jours les risques éventuels.

L'objectif ici n'est pas de donner des préconisations de solution car cela reste le domaine des professionnels de santé. Il s'agit d'offrir une vision globale du système et de relever l'éventualité de risques encore non ou mal maîtrisés. Le Tableau 26 donne un exemple du type de résultat transmis aux partenaires.

Processus concernés	**Risques**
Diagnostic	Risque au niveau de la transcription sur la qualité de l'information
Préparation	Pas d'analyse pharmaceutique, risque pour l'établissement au niveau réglementaire et risque pour le patient
Transport	Risque au niveau du transport quant à la formation des manutentionnaires
Préparation de l'administration	- Stockage (important → coûteux) - Erreur au niveau du choix dans le stock - Risque d'erreur (pas d'information de la part du pharmacien)
Administration	Préparation et administration sont dissociées
Suivi	Le suivi n'est pas effectué par des ressources ayant les compétences adéquates

Tableau 26. Récapitulatif des risques détectés classés par Processus

Conclusion générale

Synthèse

Ce travail de recherche porte sur le développement d'une approche de représentation et d'analyse de systèmes sociotechniques complexes. En effet, de tels systèmes nécessitent la mise en œuvre de concepts et de moyens permettant de mieux maîtriser le risque. Cela passe par une phase de compréhension puis par une phase d'analyse.

L'approche proposée repose sur le paradigme systémique et met en œuvre une approche d'Ingénierie Système. Le processus d'IS qui est alors mis en exergue conjugue :

- la modélisation du système complexe à différents niveaux d'abstraction, selon plusieurs vues et en utilisant les outils et les langages habituellement usités par les acteurs en charge du système à maîtriser,
- la recherche d'un niveau satisfaisant de confiance dans les modèles par une vérification et une validation partielle des modèles
- l'analyse des risques par preuve de propriétés.

En effet, l'acteur modeleur a besoin non seulement de représenter son système, mais aussi de s'assurer que cette représentation est conforme à ses besoins et pertinente avec la réalité. Il doit enfin pouvoir accorder une certaine crédibilité aux résultats que va lui fournir ce modèle. C'est en effet à partir de ces résultats que le modeleur devra prendre et argumenter ses décisions de maîtrise du risque et d'amélioration.

Ces travaux de recherche proposent donc une approche originale et transposable à divers systèmes complexes soumis à un impératif de maîtrise du risque. Les principaux apports de notre proposition concernent les organisations de santé et sont les suivants :

1. Le développement de l'IS dans un milieu autre qu'industriel. Nous avons tenté de montrer qu'en considérant un hôpital comme un système sociotechnique complexe confronté à un problème bien défini, il était pertinent de mettre en œuvre l'IS enrichie par des adaptations liées aux contraintes et exigences du milieu hospitalier.
2. Le développement d'un cadre de modélisation cohérent qui inclut le concept de **risque**. Nous avons cherché à réduire la complexité du système en offrant une grille de lecture. Cette grille inclus tous les concepts nécessaires à une modélisation exhaustive. Elle est compréhensible et les modèles qui en sont issus sont communicables et exploitables puisque basés sur l'ingénierie guidée par les modèles [OMG, 2003].
3. Des moyens de vérification formelle et de validation partielles (car encore liée à l'apport d'experts du domaine lors de l'analyse des modèles). Cela a permis d'une part, d'accroître la confiance dans la modélisation et, d'autre part, de donner la possibilité de rechercher des causes ou des effets possibles des risques. L'usage des aspects formels durant la vérification et la validation ouvrent de même une nouvelle voie d'analyse.
4. Nous nous sommes attachés à développer une démarche méthodologique afin de guider une équipe dont le projet consiste à appréhender un système complexe et de travailler sur la maîtrise des risques. Ainsi, il est possible de réutiliser cette approche dans le cadre d'autres systèmes de santé moyennant de très faibles, voire non nécessaires, adaptations.
5. La modélisation et l'analyse en collaboration avec les professionnels de santé et notamment les pharmaciens a fait émerger deux nouvelle pistes de travail pour l'amélioration du système : l'aide à la mise en œuvre d'un système d'information adapté et l'aide au pilotage de la performance. La mise en place d'un système d'information et l'informatisation du circuit du médicament peut utiliser les modèles vus ci-dessus en les complétant et en les replaçant dans un cadre méthodologique plus large dédié à l'étude de tels systèmes. Il paraîtrait donc intéressant de replacer l'approche de modélisation proposée dans un cadre tel que le cadre Zachman. Ce

cadre définit les différentes étapes, les besoins et les modèles nécessaire pour parvenir à spécifier puis à concevoir un système d'information (bases de données, architecture, modules informatiques de traitement, interfaces, etc.). En ce qui concerne la performance, il est proposé dans [ALOUI *et al.*, 2006b] de formaliser un modèle de pilotage de la performance du circuit du médicament au travers du management des risques iatrogènes.

En l'état actuel des développements, les différents outils informatiques sont en cours d'intégration afin d'obtenir une plate-forme de travail unique de modélisation et d'analyse. Cela permettra d'effectuer la phase d'analyse sans nécessiter, comme c'est encore le cas, de connaissances particulières dans les domaines des Cindyniques et des Graphes Conceptuels.

Perspectives

Plusieurs perspectives à ce travail de recherche peuvent être envisagées :

- Suite à la vérification et la validation partielle de modèle ; il devient nécessaire d'améliorer les concepts et outils de validation. L'objectif visé est double. D'une part, dans l'état actuel, lors de la modélisation, les modèles ne sont pas exécutés à des fins de simulation. Les langages de modélisation possèdent chacun une sémantique opérationnelle permettant de mettre en œuvre ce type de technique de validation. Il devient alors possible d'animer le modèle afin de permettre aux acteurs du processus de valider les scénarios et les configurations décrits, c'est-à-dire de s'assurer de leur pertinence, et au besoin de les corriger, au regard du comportement perçu du système. D'autre part, l'analyse du risque conduit à s'intéresser non seulement aux éléments de connaissances qui sont décrits dans les modèles mais aussi et surtout aux phénomènes émergents pouvant potentiellement entraîner des situations encore non décrites ou non prises en compte dans le modèle. Cette émergence de comportements nouveaux et, *a priori*, imprédictibles est une des caractéristiques essentielles des systèmes complexes dans lesquels interagissent de nombreuses personnes [BEURIER *et al.*, 2003]. L'émergence est une notion assez générale que l'on retrouve dans de nombreuses disciplines, notamment celle des Sciences de la Vie. D'ailleurs, dès 1874, Lewes en donnait la définition suivante : *"Théorie suivant laquelle la combinaison d'entités d'un niveau donné, donne naissance à une entité d'un niveau supérieur dont les propriétés sont entièrement nouvelles"*. La norme IEEE 1220 redéfinit l'émergence dans le cadre des Systèmes Industriels comme la *"Fusion ou combinaison de deux ou plusieurs éléments de bas niveau en un élément fonctionnel unifié de plus haut niveau, satisfaisant aux interfaces logiques et physiques"*. Ici aussi, la simulation, c'est-à-dire l'exécution des modèles en tenant compte des hypothèses liées au temps ou au niveau de détail, est un outil qui a fait ses preuves comme l'attestent les travaux menés autour des systèmes multi agents [PARUNAK et BRUECKNER, 2001 ; BERNON *et al.*, 2006]. Ces travaux tentent en effet de modéliser l'émergence de comportements imprévus et les possibilités d'auto organisation entre des agents doués d'une certaine autonomie décisionnelle et comportementale. Mettre en œuvre ce type de technique nécessite d'abord de formaliser la sémantique opérationnelle, les hypothèses et les règles d'exécution pour chacun des langages de modélisation employés dans la vue comportementale du système. Il faut ensuite traduire les modèles comportementaux du système sous forme d'agents. L'avantage est de pouvoir disposer rapidement d'une simulation distribuée rendant compte de l'évolution parallèle de différentes entités complexes indépendamment les unes des autres. Des premiers tests ont été réalisés [CHAPURLAT et ALOUI, 2007] en utilisant la plate forme JADE (Java Agent DEvelopement framework) [BELLIFEMINE *et al.*, 2003] pour mener à bien cette simulation.
- La seconde perspective vise les Graphes Conceptuels. En effet, dans l'état actuel des recherches sur ce domaine, il y a une limite liée à la description de l'évolution du temps. Il est donc difficile de décrire des propriétés dynamiques dans lesquels des notions temporelles sont nécessaires à prendre en considération. Il existe alors deux alternatives :

- Les mécanismes de raisonnement proposés dans ce travail de recherche peuvent tout d'abord être améliorés pour résoudre cette problématique. Il serait ainsi intéressant d'étudier le modèle des graphes conceptuels temporisés ou temporels pour améliorer la représentation et la preuve de propriété incluant la dimension temporelle.
- Il est aussi possible de s'orienter vers des model checkers du marché basés sur l'emploi et le raisonnement sur des propriétés dynamiques à base de logiques temporelles diverses.

- Enfin, il semble également pertinent et intéressant de travailler sur la maintenabilité des modèles. En effet, un modèle fait à un instant *t* par un modeleur ou une équipe de modélisation, est-il réutilisable à *t+1* par d'autres modeleurs. Est-ce qu'il correspond toujours au système qu'il est sensé représenter, en un mot reste-t-il pertinent ? Est-ce que l'utilisation d'une vue ontologie permettra de travailler sur la maintenabilité de ces modèles, d'une part pour qu'ils restent des supports de communication et d'autres part pour qu'ils gardent leur pertinence de représentation ?

Annexes

Annexe A : Méta modèle risque : MADS

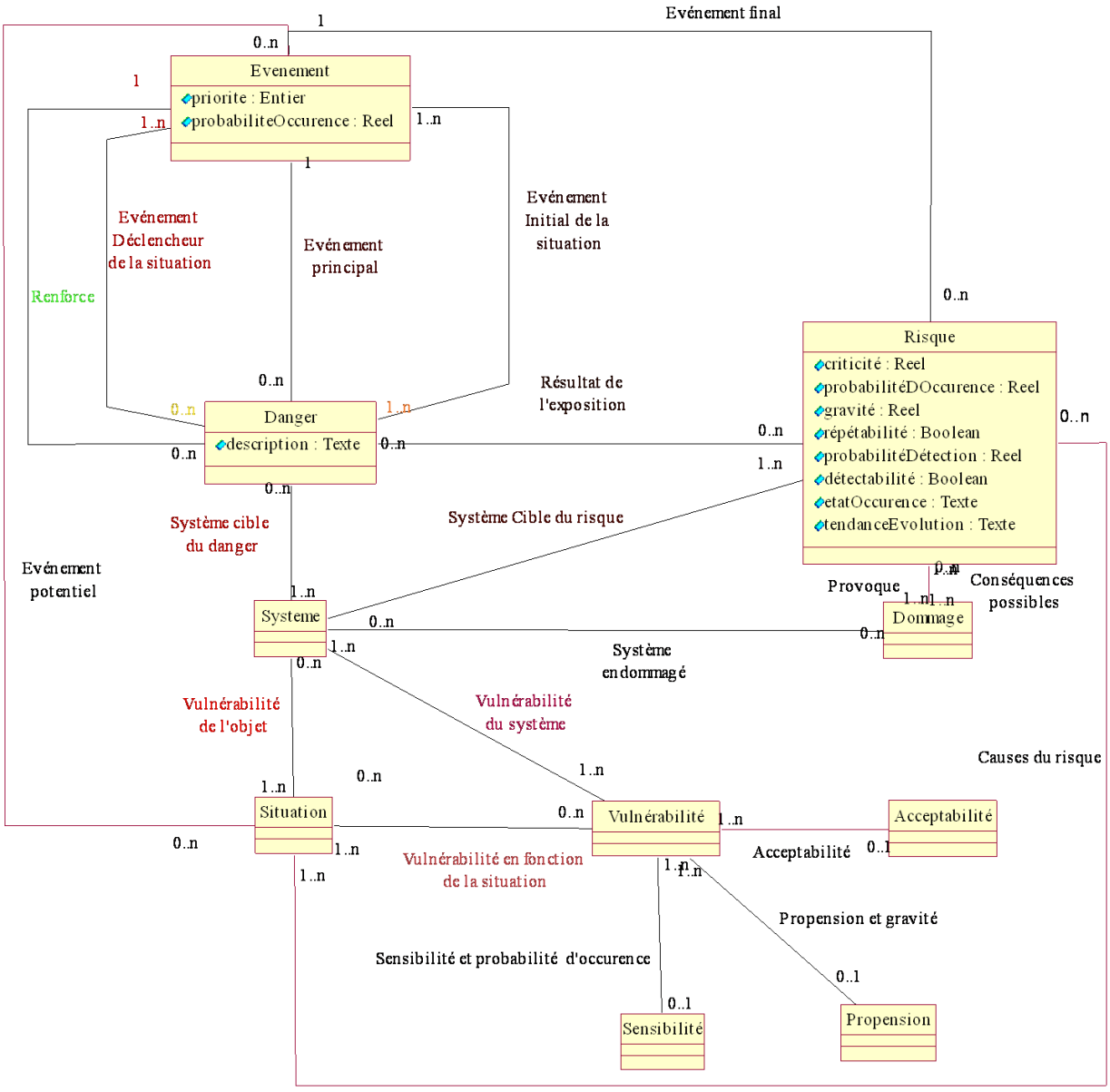


Fig. 1. Métamodèle UML risque : MADS (simplifié)

Annexe B : Méta modèle du risque : Cindynique

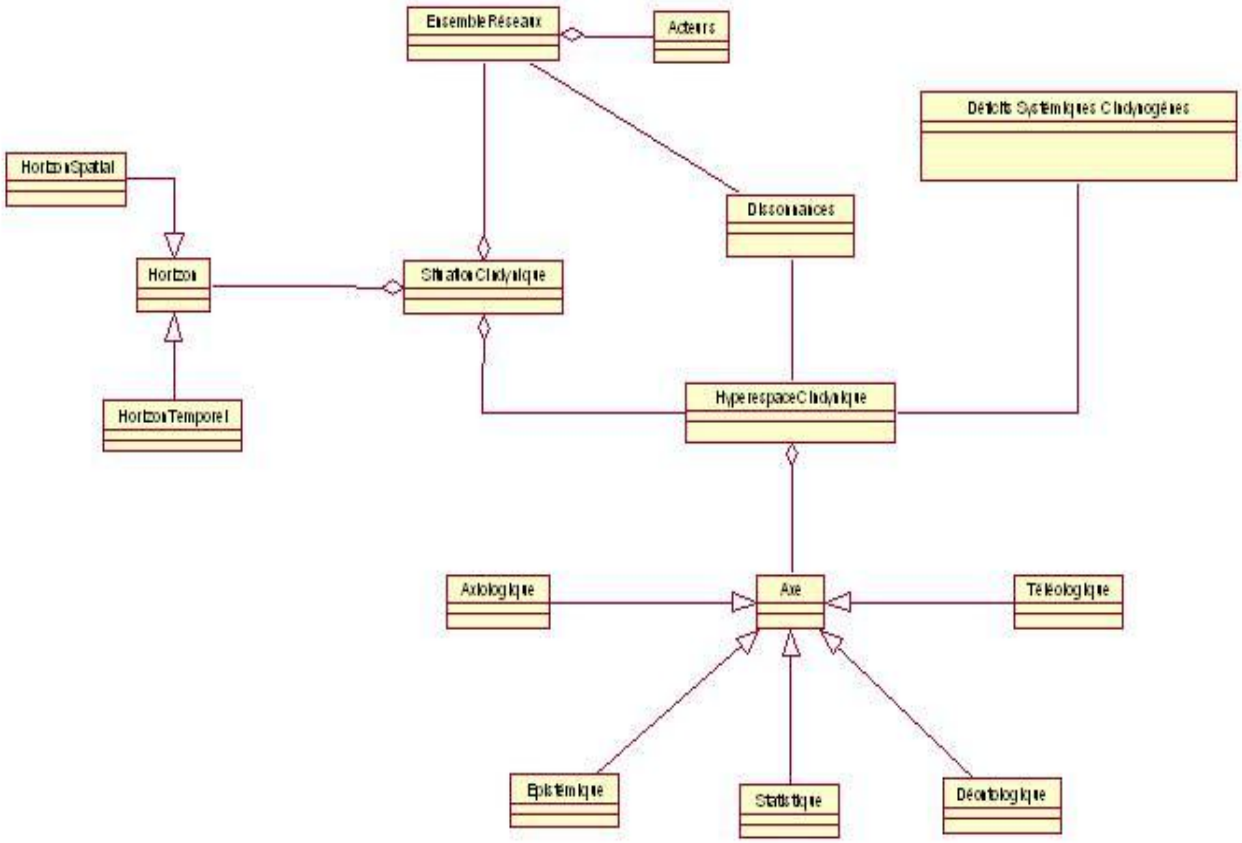


Fig. 2. Méta modèle UML risque : Cindynique (simplifié)

Annexe C : Méta Modèle GME des concepts

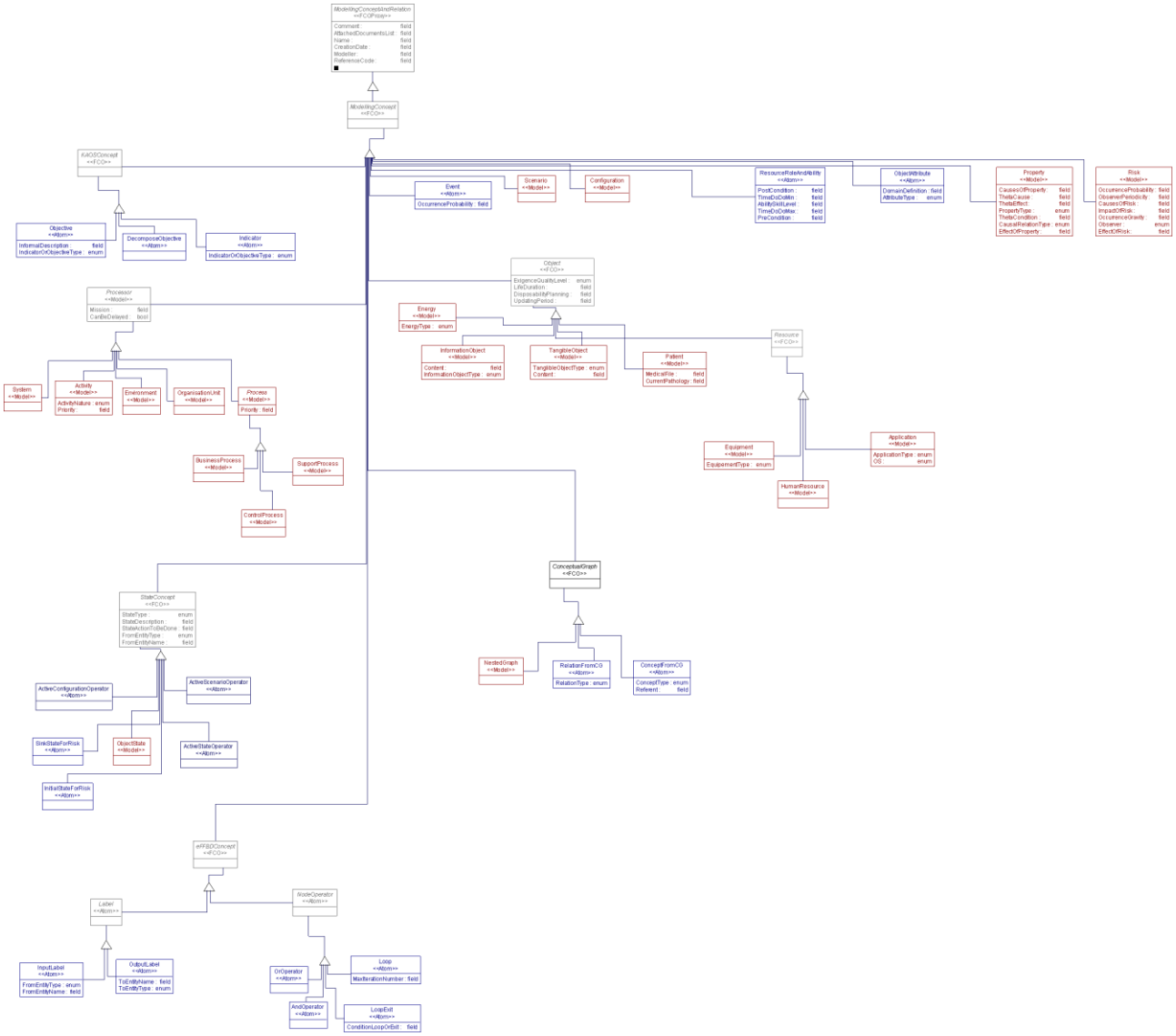


Fig. 3. Méta modèle des concepts en GME

Ce diagramme de classe représente le méta modèle GME de tous les concepts nécessaires à la modélisation.

Annexe D : Méta Modèle GME des relations

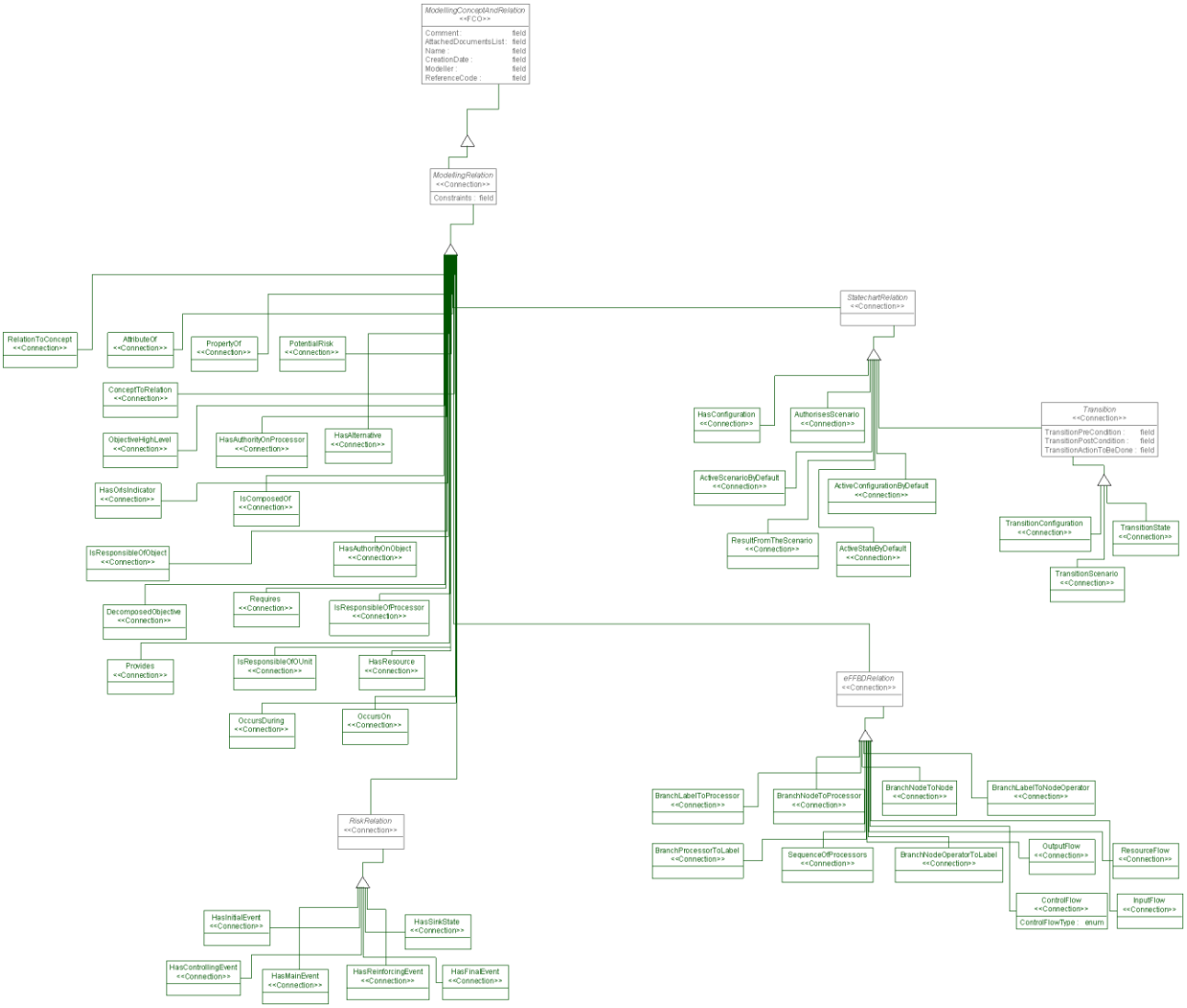


Fig. 4 Méta modèle des concepts en GME

Ce diagramme de classe représente le méta modèle GME de toutes les relations nécessaires à la modélisation

Annexe E : Métas Modèles GME des Langages de Modélisation

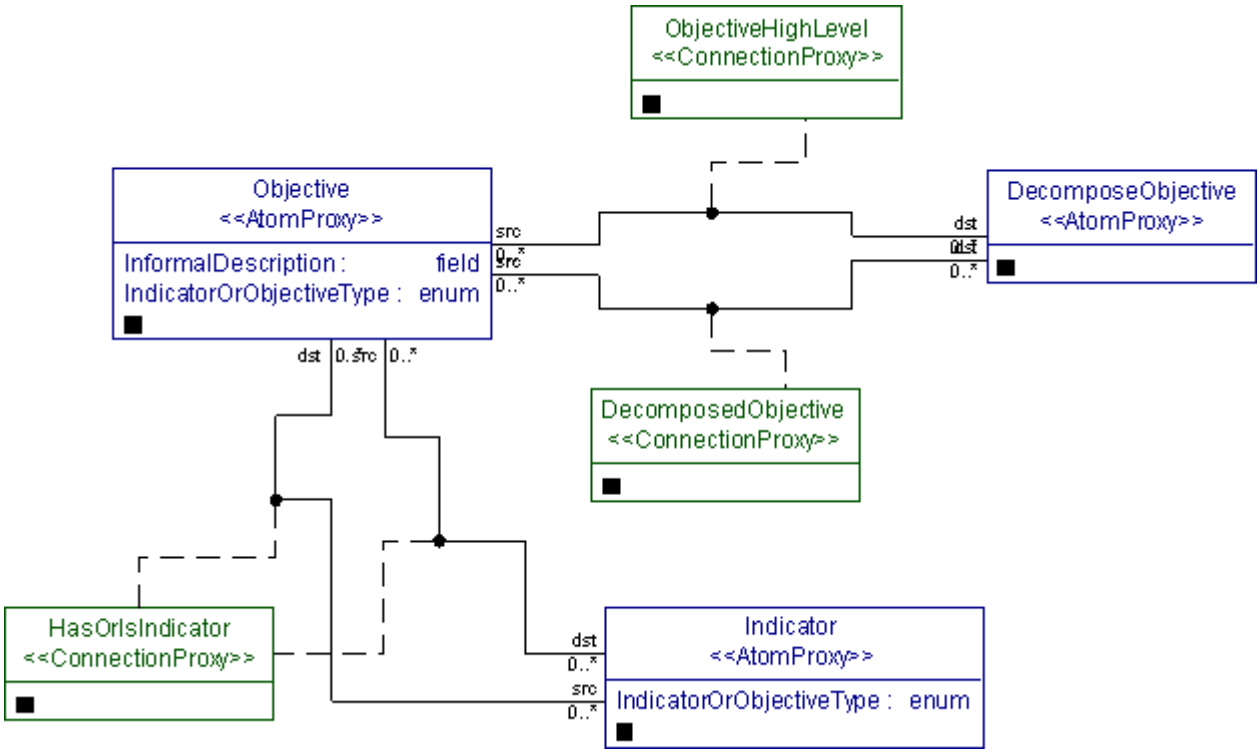


Fig. 5. Méta modèle GME du langage de modélisation KAOS

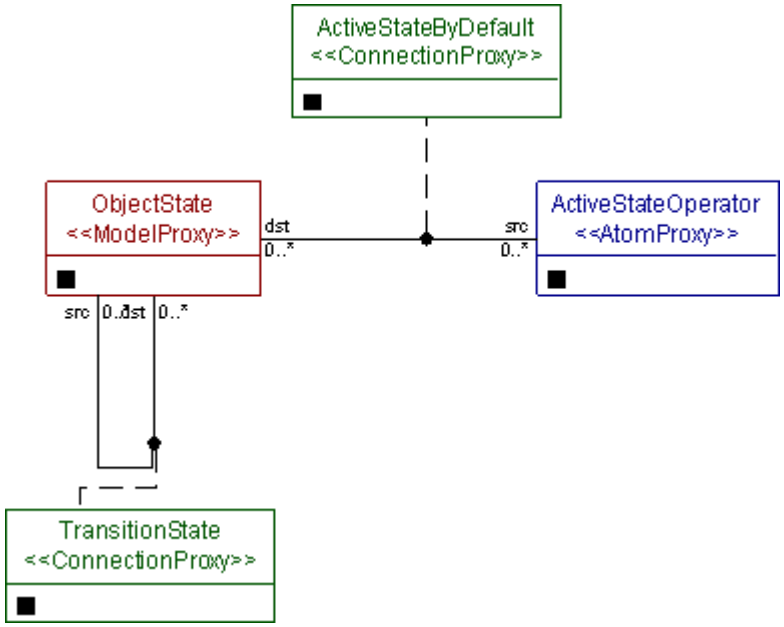


Fig. 6. Méta modèle GME du langage de modélisation StateChart simples

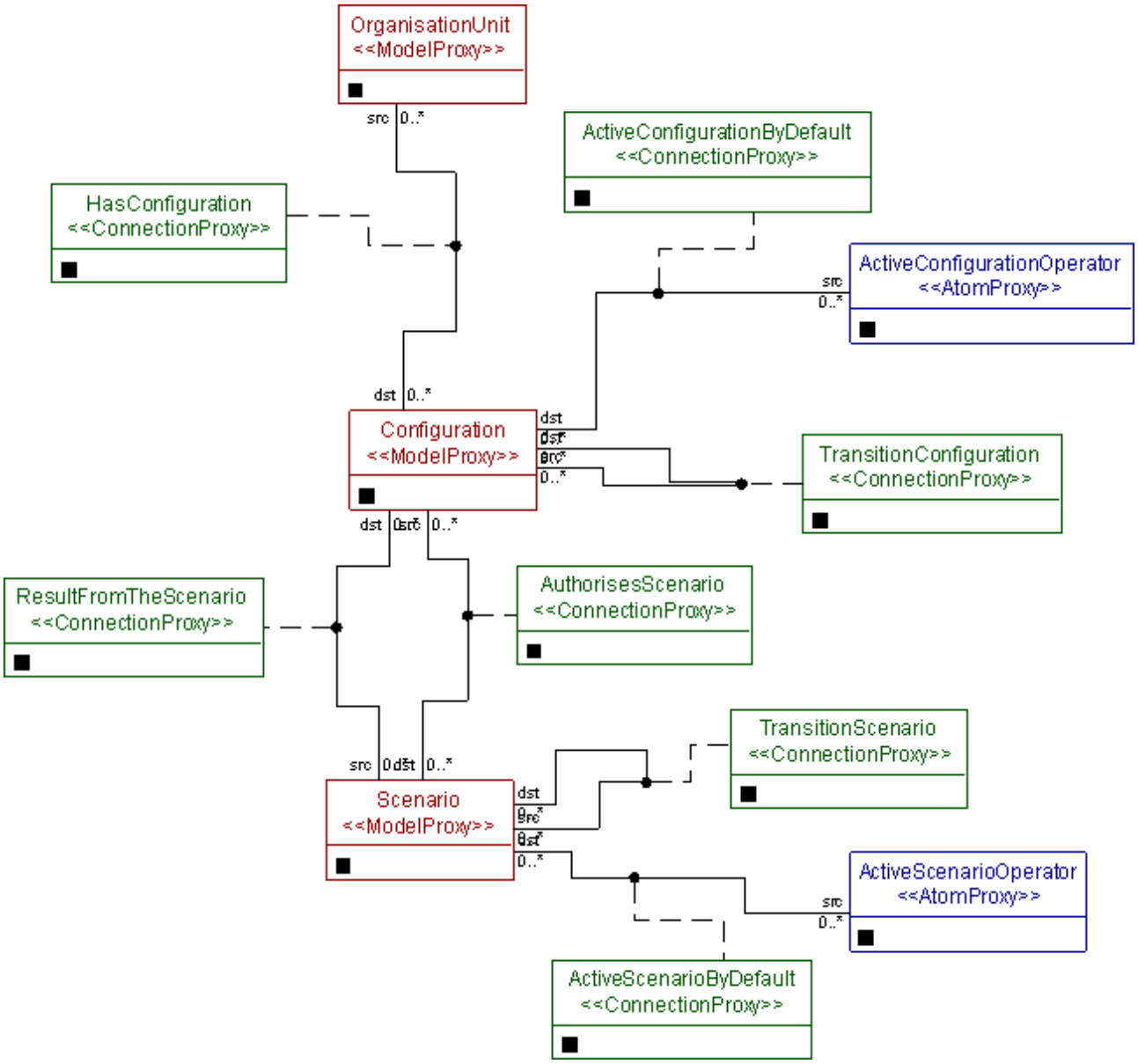


Fig. 7. Méta modèle GME du langage de modélisation StateChart pour les configurations et les scénarios

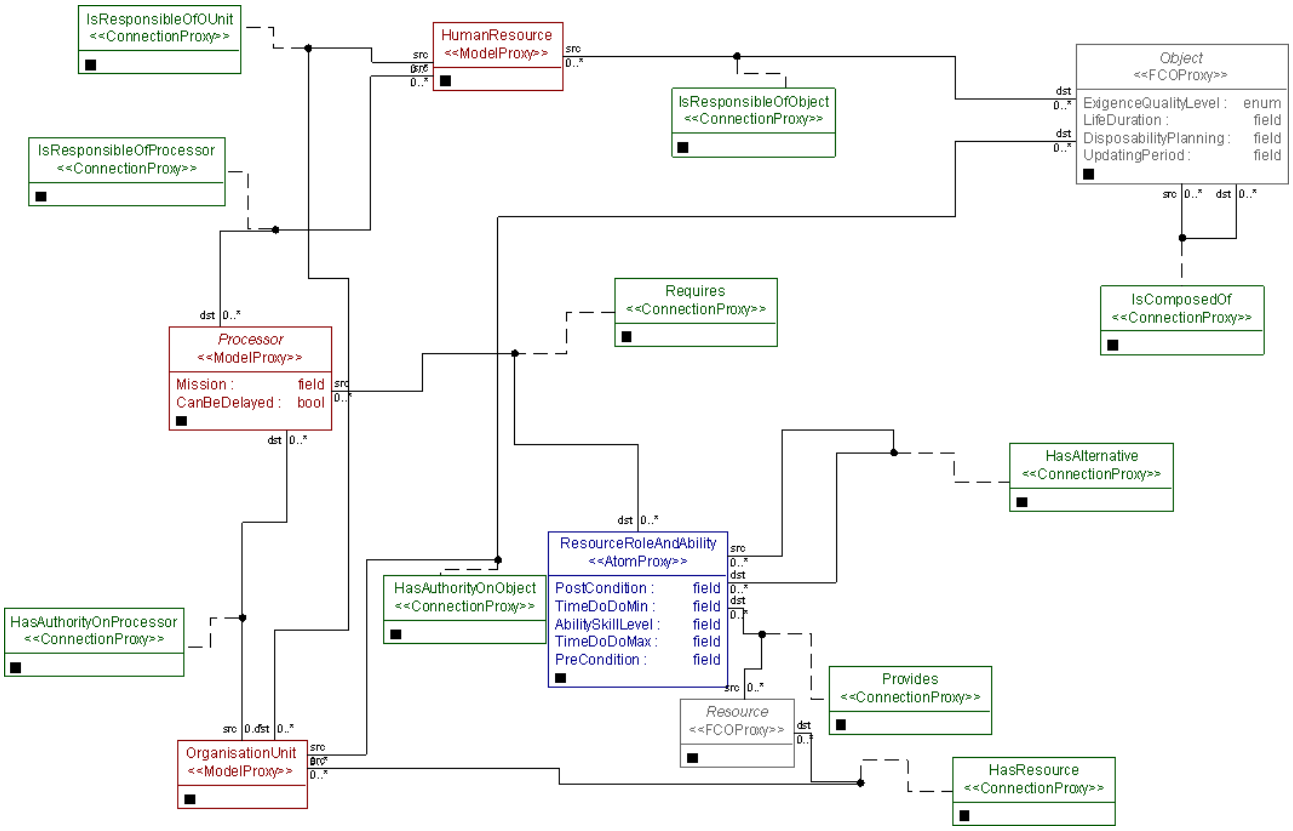


Fig. 8. Méta modèle GME du langage de modélisation utilisé pour décrire les unités organisationnelles

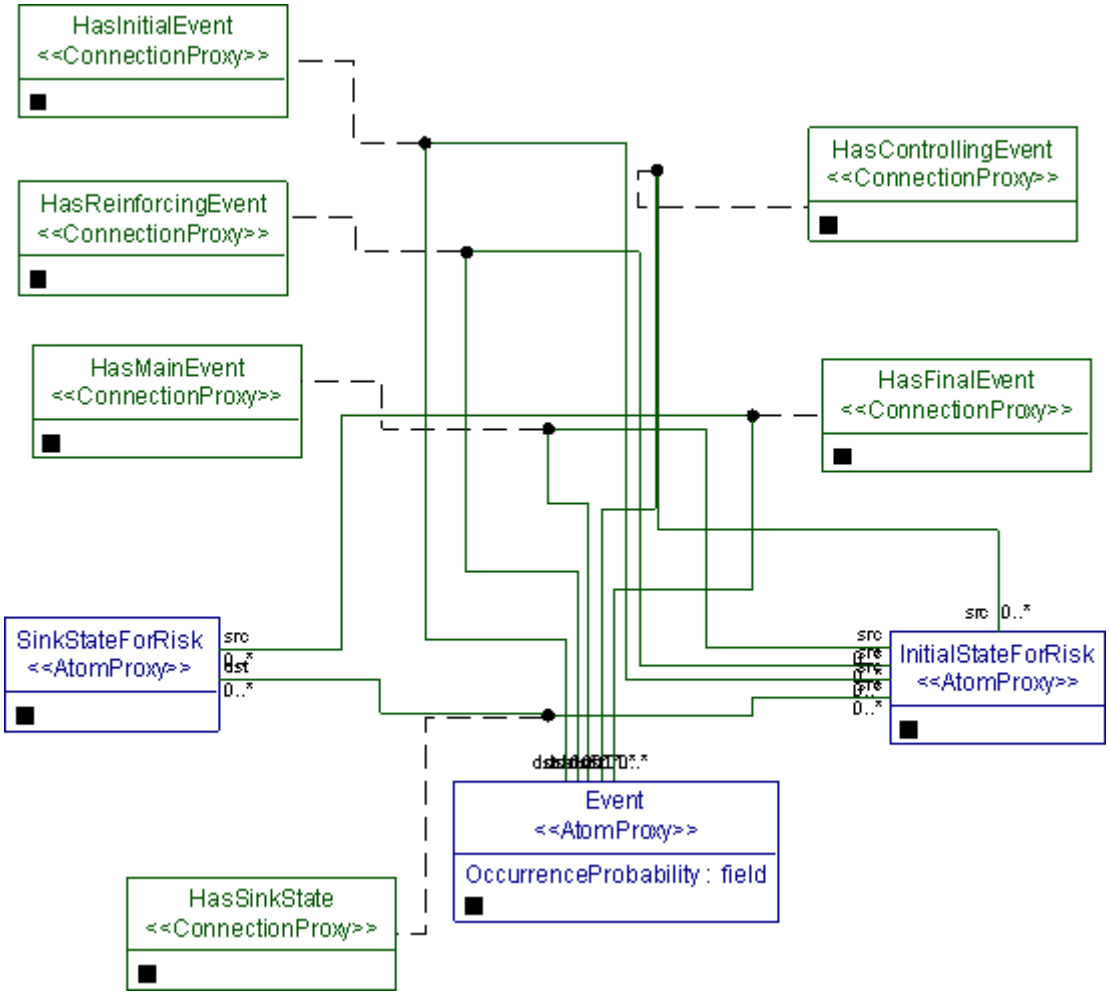


Fig. 9. Méta modèle GME du langage de modélisation utilisé pour décrire le risque (approche MADS)

Annexe F : Modèle de propriétés CRED

Selon [LAMINE, 2001] le modèle de propriété CRED se définit comme suit :

$$P ::= < C_D , R_{DD'} , E_{D'} , D'' >$$

Avec :

C_D est l'ensemble, éventuellement vide, d'objets appelés *faits* issus du niveau de détail D''. Un fait est une entité quelconque manipulée au cours de la modélisation et à un niveau de détail donné, par exemple un scénario ou un processus. Un fait est ainsi utilisable pour exprimer les causes d'une propriété liée à ce niveau.

E_D est l'ensemble, nécessairement non vide, des faits résultant de la propriété. Ils appartiennent à un degré D' de la granularité G en précisant que chaque fait est référencé avec un degré de détail donné dans une même granularité choisie par le modeleur. D, D' et D'' sont des degrés de détail respectant les règles suivantes :

- Les faits (causes et effets) appartiennent à un niveau $D \in G$ ou $D' \in G$ avec $D' \in$.
- Pour toute propriété P, P est de degré D'' tel que $D'' = \max (D, D')$ et $D'' \in G$

R est la relation de causalité R typée. Elle se définit par :

$$R ::= < \theta_c , \theta_e , \theta_i , T >$$

Avec :

θ_c est la fonction Cause définie comme suit :

$$\theta_c : T^l \times C_D{}^m \times \Re^{+*n} \rightarrow B$$

$$(t_1, \dots , t_l, c_1, \dots , c_m, r_1, \dots , r_n) \rightarrow \theta_c(t_1, \dots , t_l, c_1, \dots , c_m, r_1, \dots , r_n) \in \{0,1\}$$

θe est la fonction Effet définie comme suit :

$$\theta e : To \times EDp \times \Re +*q \rightarrow B$$

$$(t1, \dots , to, e1, \dots , ep, r1, \dots , rq) \rightarrow \theta e(t1, \dots , to, e1, \dots , ep, r1, \dots , rq) \in \{0,1\}$$

θi est l'indicateur d'influence défini dans $\Re$: $\theta i \in \Re$

$\theta_i=0 \Rightarrow$ l'influence est nulle

$\theta_i>0 \Rightarrow$ l'influence est positive et d'autant plus importante que $\theta_i \rightarrow +\infty$

$\theta_i<0 \Rightarrow$ l'influence est négative et d'autant plus néfaste que $\theta_i \rightarrow -\infty$

T est l'ensemble des faits communs aux ensembles CD et ED : $T = CD \cap ED$

Tout l'intérêt du modèle CRED réside en particulier dans le type de cette relation R qui peut être :

- **Logique** : implication ou équivalence sans notion de temps ou de durée d'application,
- **Temporelle** : les notions d'instants ou d'intervalles de temps permettent de définir, par exemple, la précédence : les causes précèdent toujours les effets,
- **Influence** : la connaissance que l'on a de la cause modifie, avec un sens de variation interprétable qualitativement, l'opinion que l'on a sur l'effet [PEARL, 1999]
- **Emergence** : l'effet de la propriété est caractérisé par l'existence d'une autre propriété appartenant à un niveau de détail plus abstrait ou plus grossier [MEINADIER, 1998].

Annexe G : De GME vers Cogitant

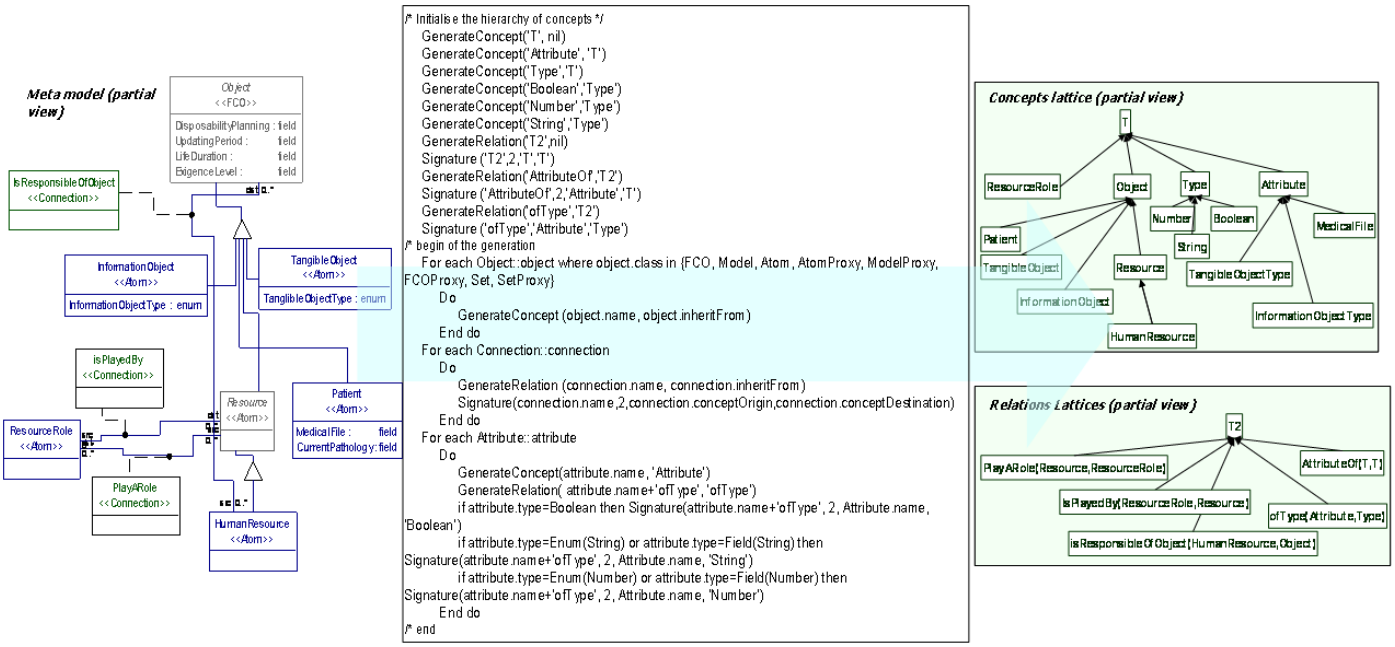


Fig. 10. Réécriture de méta modèle GME vers les treillis Cogitant (Vision Graphique)

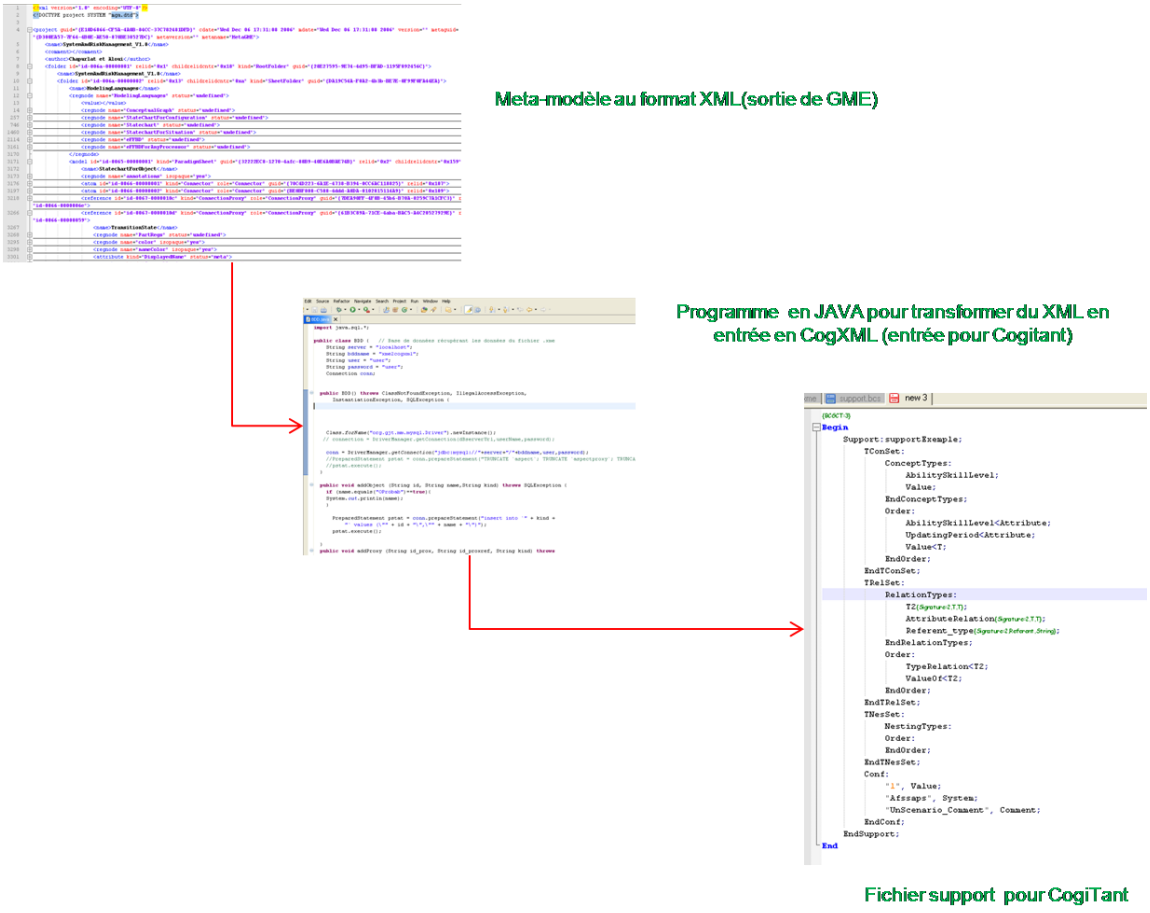


Fig. 11. Passage des fichiers XME à CogXML en utilisant l'application JAVA XME2CogXML

Annexe H : Architecture pour aller de GME vers Cogitant

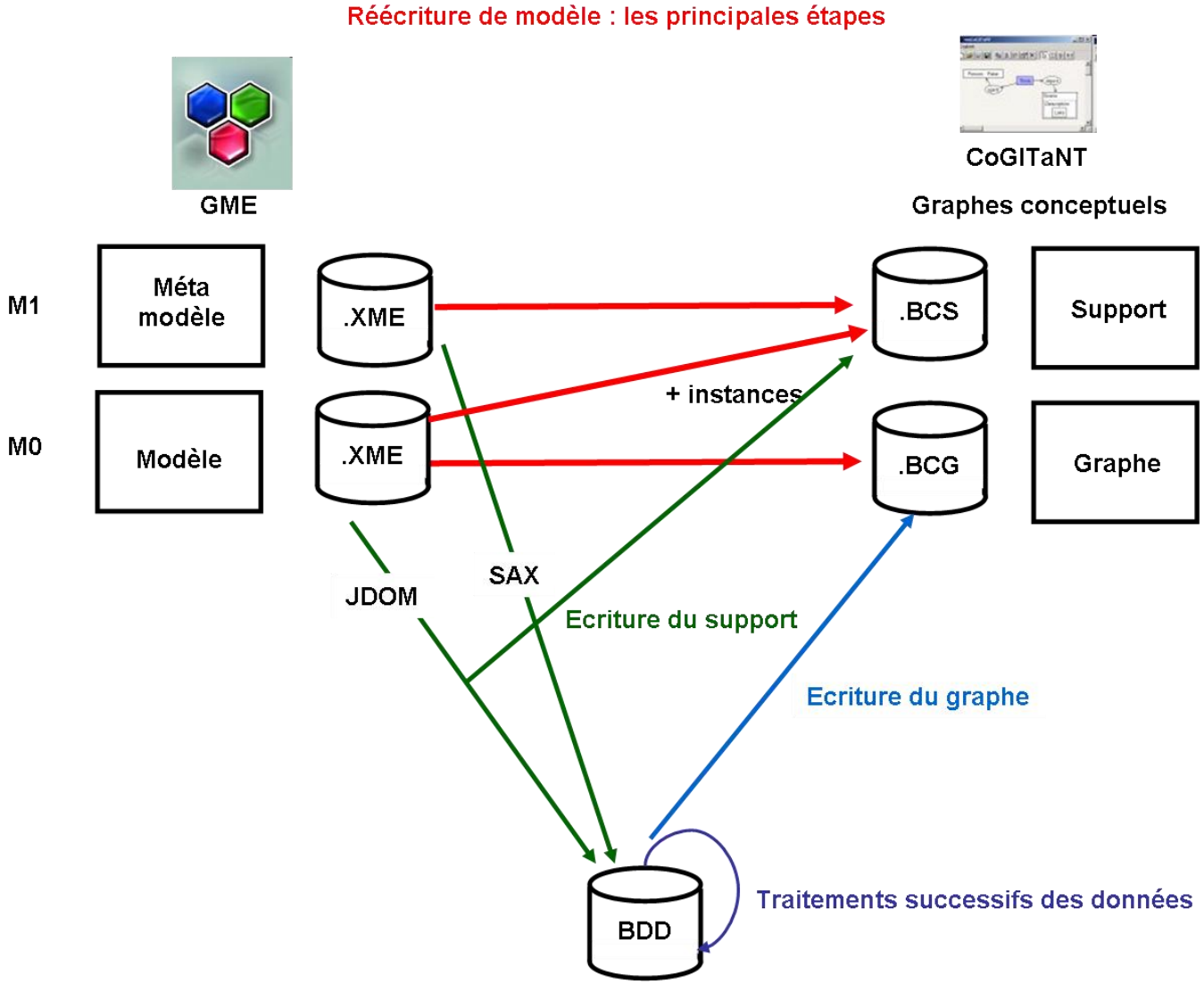


Fig. 12. Architecture informatique pour la réécriture de modèle

Annexe I : Le format XME – DTD

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<!ENTITY lt     "&#38;#60;">

<!ENTITY gt     "&#62;">

<!ENTITY amp    "&#38;#38;">

<!ENTITY apos   "&#39;">

<!ENTITY quot   "&#34;">

<!ELEMENT project (name, comment?, author?, folder)>

<!ATTLIST project

        version         CDATA           #IMPLIED

        guid            CDATA           #IMPLIED

        cdate           CDATA           #IMPLIED

        mdate           CDATA           #IMPLIED

        metaversion     CDATA           #IMPLIED

        metaguid        CDATA           #IMPLIED

        metaname        CDATA
        #REQUIRED

>

<!ELEMENT name (#PCDATA)>

<!ELEMENT comment (#PCDATA)>

<!ELEMENT author (#PCDATA)>

<!ELEMENT value (#PCDATA)>

<!ELEMENT constraint (name, value)>

<!ELEMENT regnode (value, regnode*)>

<!ATTLIST regnode

        name            CDATA
        #REQUIRED

        status          (inherited|meta|undefined)
#IMPLIED

        isopaque        (yes|no) "no"

>

<!ELEMENT folder (name, (regnode|constraint|folder|model|atom|reference|set|connection)*)>

<!ATTLIST folder

        id                      ID
        #IMPLIED

        kind            NMTOKEN
        #REQUIRED

        relid           CDATA           #IMPLIED

        childrelidcntr  CDATA#IMPLIED

        libref          CDATA           #IMPLIED

>

<!ELEMENT model (name, (regnode|constraint|attribute|model|atom|reference|set|connection)*)>

<!ATTLIST model

        id                      ID
        #IMPLIED

        kind            NMTOKEN
        #REQUIRED

        role            NMTOKEN
        #IMPLIED

        derivedfrom     IDREF           #IMPLIED

        isinstance      (yes|no) "no"

        isprimary       (yes|no) "yes"

        relid           CDATA           #IMPLIED

        childrelidcntr  CDATA           #IMPLIED

>

<!ELEMENT atom (name, (regnode|constraint|attribute)*)>

<!ATTLIST atom

        id                      ID
        #IMPLIED

        kind            NMTOKEN
        #REQUIRED

        role            NMTOKEN
        #IMPLIED

        derivedfrom     IDREF           #IMPLIED

        isinstance      (yes|no) "no"

        isprimary       (yes|no) "yes"

        relid           CDATA           #IMPLIED

>

<!ELEMENT reference (name, (regnode|constraint|attribute)*)>

<!ATTLIST reference

        id                      ID
        #IMPLIED

        kind            NMTOKEN
        #REQUIRED

        role            NMTOKEN
        #IMPLIED

        derivedfrom     IDREF           #IMPLIED

        isinstance      (yes|no) "no"

        isprimary       (yes|no) "yes"

        referred IDREF          #IMPLIED
```

```
        isbound         (yes|no) "no"
        relid           CDATA    #IMPLIED
>
<!ELEMENT set (name, (regnode|constraint|attribute)*)>
<!ATTLIST set
        id              ID       #IMPLIED
        kind            NMTOKEN  #REQUIRED
        role            NMTOKEN  #IMPLIED
        derivedfrom     IDREF    #IMPLIED
        isinstance      (yes|no) "no"
        isprimary       (yes|no) "yes"
        members         IDREFS   #IMPLIED
        isbound         (yes|no) "no"
        relid           CDATA    #IMPLIED
>
<!ELEMENT connection (name?, (regnode|constraint|connpoint|attribute)*)>
<!ATTLIST connection
        id              ID       #IMPLIED
        kind            NMTOKEN  #REQUIRED
        role            NMTOKEN  #IMPLIED
        derivedfrom     IDREF    #IMPLIED
        isinstance      (yes|no) "no"
        isprimary       (yes|no) "yes"
        isbound         (yes|no) "no"
        relid           CDATA    #IMPLIED
>
<!ELEMENT connpoint EMPTY>
<!ATTLIST connpoint
        role            NMTOKEN  #REQUIRED
        target          IDREF    #REQUIRED
        refs            IDREFS   #IMPLIED
        isbound         (yes|no) "no"
>
<!ELEMENT attribute (value, regnode*)>
<!ATTLIST attribute
        kind            NMTOKEN  #REQUIRED
        status          (inherited|meta) #IMPLIED
>
```

Annexe J : Le format CogXML - DTD

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!--
DTD CoGXML 1.1
Cette DTD permet la représentation d'un support, de graphes conceptuels et de règles de graphes.
Pour se référer à cette DTD, utiliser la syntaxe suivante :
<!DOCTYPE CoGXML PUBLIC "-//COGITANT//CoGXML Format Specification 1.1//EN" "http://cogitant.sourceforge.net/cogxml.dtd">
Ce fichier fait partie de CoGITaNT, une bibliothèque pour la construction d'applications sur les graphes conceptuels, disponible sous licence GPL. http://cogitant.sourceforge.net
CoGITaNT version 5.1.4 - dernière modification de la DTD : 17/09/2003
-->
<!-- Extensions des attributs des balises standard. -->
<!ENTITY % cogxmlExtensions "">
<!ENTITY % supportExtensions "">
<!ENTITY % conceptTypesExtensions "">
<!ENTITY % relationTypesExtensions "">
<!ENTITY % nestingTypesExtensions "">
<!ENTITY % conformityExtensions "">
<!ENTITY % supportObjectExtensions "">
<!ENTITY % ctypeExtensions "">
<!ENTITY % rtypeExtensions "">
<!ENTITY % ntypeExtensions "">
<!ENTITY % markerExtensions "">
<!ENTITY % orderExtensions "">
<!ENTITY % graphExtensions "">
<!ENTITY % environmentObjectExtensions "">
<!ENTITY % nodeExtensions "">
<!ENTITY % conceptExtensions "">
<!ENTITY % nestingExtensions "">
<!ENTITY % relationExtensions "">
<!ENTITY % edgeExtensions "">
<!ENTITY % ruleExtensions "">
<!ENTITY % conPtsExtensions "">
<!ENTITY % coupleExtensions "">
<!ENTITY % subPropExtensions "">
<!-- Document. -->
<!ELEMENT cogxml (support?, (graph | rule)*)>
<!ATTLIST cogxml
        app CDATA #IMPLIED
        %cogxmlExtensions;
>
<!-- Propriétés supplémentaires des chaque objet du modèle. -->
<!ELEMENT subprop EMPTY>
<!ATTLIST subprop
        subid CDATA #REQUIRED
        %subPropExtensions;
>
<!-- Support. -->
<!ELEMENT support (conceptTypes, relationTypes?, nestingTypes?, conformity?, subprop*)>
<!ATTLIST support
        name CDATA #IMPLIED
        %supportExtensions;>
<!ELEMENT conceptTypes (ctype*, order*)>
<!ATTLIST conceptTypes
        %conceptTypesExtensions;>
<!ELEMENT ctype (subprop*)>
<!ATTLIST ctype
        id ID #IMPLIED
        label CDATA #REQUIRED
        %supportObjectExtensions;
        %ctypeExtensions;>
<!ELEMENT order EMPTY>
<!ATTLIST order
        id1 IDREF #IMPLIED
        id2 IDREF #IMPLIED
        label1 CDATA #IMPLIED
        label2 CDATA #IMPLIED>
<!ELEMENT relationTypes (rtype*, order*)>
<!ATTLIST relationTypes
        %relationTypesExtensions;>
<!ELEMENT rtype (subprop*)>
<!ATTLIST rtype
        id ID #IMPLIED
        label CDATA #REQUIRED
        idSignature CDATA #IMPLIED
        labelSignature CDATA #IMPLIED
```

```
        %supportObjectExtensions;
        %rtypeExtensions;>
<!ELEMENT nestingTypes (ntype*, order*)>
<!ATTLIST nestingTypes
        %nestingTypesExtensions;>
<!ELEMENT ntype (subprop*)>
<!ATTLIST ntype
        id ID #IMPLIED
        label CDATA #REQUIRED
        %supportObjectExtensions;
        %ntypeExtensions;>
<!ELEMENT conformity (marker*)>
<!ATTLIST conformity
        %conformityExtensions;>
<!ELEMENT marker (subprop*)>
<!ATTLIST marker
        id ID #IMPLIED
        label CDATA #REQUIRED
        idType IDREF #IMPLIED
        labelType CDATA #IMPLIED
        %supportObjectExtensions;
        %markerExtensions;>
<!-- Graphe. -->
<!ELEMENT graph (concept*, relation*, edge*, subprop*)>
<!ATTLIST graph
        id ID #REQUIRED
        nature CDATA #IMPLIED
        set CDATA #IMPLIED
        %environmentObjectExtensions;
        %nodeExtensions;
        %graphExtensions;>
<!ELEMENT concept (nesting*, subprop*)>
<!ATTLIST concept
        id ID #REQUIRED
        idType CDATA #IMPLIED
        labelType CDATA #IMPLIED
        coreferenceClass CDATA #IMPLIED
        referent (generic|individual|variable) "generic"
        idMarker CDATA #IMPLIED
        labelMarker CDATA #IMPLIED
        %nodeExtensions;
        %conceptExtensions;>
<!ELEMENT nesting (subprop*)>
<!ATTLIST nesting
        idType CDATA #IMPLIED
        labelType CDATA #IMPLIED
        nestGraph CDATA #REQUIRED
        %nodeExtensions;
        %nestingExtensions;>
<!ELEMENT relation (subprop*)>
<!ATTLIST relation
        id ID #REQUIRED
        idType CDATA #IMPLIED
        labelType CDATA #IMPLIED
        %nodeExtensions;
        %relationExtensions;>
<!ELEMENT edge EMPTY>
<!ATTLIST edge
        rid IDREF #REQUIRED
        cid IDREF #REQUIRED
        label CDATA #REQUIRED
        %edgeExtensions;>
<!-- Règle. -->
<!ELEMENT rule (hypt, conc, conPts, subprop*)>
<!ATTLIST rule
        id ID #REQUIRED
        %environmentObjectExtensions;
        %ruleExtensions;>
<!ELEMENT hypt (graph)>
<!ELEMENT conc (graph)>
<!ELEMENT conPts (couple*)>
<!ATTLIST conPts
        %conPtsExtensions;>
<!ELEMENT couple EMPTY>
<!ATTLIST couple
        idC1 IDREF #REQUIRED
        idC2 IDREF #REQUIRED
        %coupleExtensions;
```

Bibliographie

[ACCELERA, 2004] ACCELERA (2004). PSL Property Specification Language Reference Manual. Version 1.1 Accelera Formal Verification Technical Committee (FVTC),.

[ADDOUCHE N., 2006] ADDOUCHE N. (2006). DAMRTS : Une méthodologie pour la vérification formelle des propriétés de sûreté de fonctionnement de systèmes temps réel. Automatique et Productique - ED : Electronique, Electrotechnique, Automatique et Traitement du signal Nimes, INPG. **Ph.D**.

[AFIS, 2007] AFIS (2007). Association Française d'Ingénierie Système.

[AIAA, 1998] AIAA (1998). (American Institute of Aeronautics & Astronautics) - Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations, American Institute of Aeronautics & Astronautics.

[AKOS LEDECZI, *et al.* , 2000] AKOS LEDECZI, *et al.* (2000). The Generic Modeling Environment, Vanderbilt University, Institute for Software Integrated Systems.

[ALLEMANG D., *et al.* , Year] ALLEMANG D., *et al.* (2005). Enterprise architecture reference modeling in OWL/RDF. Semantic Web - Iswc 2005, Proceedings.

[ALLILAIRE F., *et al.* , Year] ALLILAIRE F., *et al.* (2006). ATL - eclipse support for model transformation. Proceedings of the Eclipse Technology eXchange workshop (eTX) at the ECOOP 2006 Conference, Nantes, France.

[ALOUI S., *et al.* , Year] ALOUI S., *et al.* (2006a). Modélisation de système hospitalier pour le management du risque. GISEH06, Gestion et Ingénierie des SystÈmes Hospitaliers, Luxembourg.

[ALOUI S., *et al.* , Year] ALOUI S., *et al.* (2006b). Performance du circuit du médicament au travers du management des risques iatrogènes. Le congrès λμ15 de l'IMDR-SDF, Lille

[ALOUI S., *et al.* , Year] ALOUI S., *et al.* (2007). System engineering and enterprise modeling for risks management: application to the drug circuit in a university hospital. URMPM - Union of Risk Management for Preventive Medicine 2nd American Congress - Improving the quality and sustainability of health care services, Montreal, Canada.

[AMICE, 1993] AMICE (1993). CIMOSA: Open System Architecture for CIM. Berlin, Springer.

[ARTICLE R230-1, 2001] ARTICLE R230-1 (2001). Aticle R. 230-1 du code du travail français, Journal Officiel **2001-1016**

[ASHBY W. R., 1958] ASHBY W. R. (1958). "General System Theory as a new discipline." General Systems Yearbook **3**.

[AUGUSTO V. et XIE X., Year] AUGUSTO V. et XIE X. (2006). Modélisation et analyse de flux par la simulation en milieu hospitalier : État de l'art. GISEH06, Gestion et Ingénierie des SystÈmes Hospitaliers, Luxembourg.

[BAGET J.-F., 2001] BAGET J.-F. (2001). Représenter les connaissances et raisonner avec des hypergraphes: de la projection à la dérivation sous contraintes, Université de Montpellier II. **Phd Thesis**.

[BECK U., 2001] BECK U. (2001). La Société du risque - Sur la voie d'une autre modernité. Paris. Paris, Flammarion

[BELLIFEMINE F., *et al.* , 2003] BELLIFEMINE F., *et al.* (2003). "JADE A White Paper." EXP in search of innovation **3**(3): 6-19.

[BENABEN F., 2001] BENABEN F. (2001). La méthode MOFOV: aide à la conception des systèmes hétérogènes. Montpellier, Université de Montpellier II. **Ph. D**.

[BERIO G., 2006] BERIO G. (2006). "UEML 1.0 and UEML 2.0: Benefits, problems and comparison." Business Process Management Workshops **3812**: 245-256.

[BERNON C., *et al.* , Year] BERNON C., *et al.* (2006). Enhancing Self-Organising Emergent Systems Design with Simulation 7th International Workshop on Engineering Societies in the Agents World (ESAW'06), Dublin.

[BERNSTEIN P., 1998] BERNSTEIN P. (1998). Plus fort que les dieux : la remarquable histoire du risque (Against the gods : The Remarkable Story of Risk), Flammarion.

[Author, 2003] BERNUS P., *et al.* , Eds. (2003). Handbook on Architectures of Information Systems. New York, Inc. Secaucus, NJ, USA, Springer-Verlag

[BERNUS P. et NEMES L., 1996] BERNUS P. et NEMES L. (1996). "A Framework to Define a Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology." Computer Integrated Manufacturing Systems **9**(3): 179-191.

[BEURIER G., *et al.* , Year] BEURIER G., *et al.* (2003). Un modèle de Système Multi-Agents pour l'Emergence Multi-Niveaux. JFSMA'03: Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents Hammamet, Hermès.

[BEZIVIN J., 1995] BEZIVIN J. (1995). "Objets et Méthodes." Revue L'OBJET: Logiciel, Bases de Données, Réseaux.

[BÉZIVIN J. et GERBÉ O., Year] BÉZIVIN J. et GERBÉ O. (2001). Towards a Precise Definition of the OMG/MDA Framework. 16th IEEE International Conference on Automated Software Engineering (ASE'01), San Diego, USA.

[BJELKE S., 2004] BJELKE S. (2004). Risk assessment-mission impossible? doc. IT Audit vol4.

[BLAHA M. et RUMBAUGH J., 2005] BLAHA M. et RUMBAUGH J. (2005). Modélisation et conception orientées objet avec UML 2, Eyrolles.

[BLANC DIT JOLICOEUR L., 2004] BLANC DIT JOLICOEUR L. (2004). Modélisation des processus « métier » mis en oeuvre dans une approche EAI en vue de leur pilotage « Le pilotage des applications intégrées ». Génie Indutriel. Annecy, Université de Savoie.

[BOCK C. et GRUNINGER M., 2005] BOCK C. et GRUNINGER M. (2005). "PSL: A Semantic Domain for Flow Models." Software and Systems Modeling Journal.

[BPMS, 2007] BPMS. (2007). "Le portail dédié au management par les processus." from http://www.bpms.info/index.asp.

[BRAESCH C., *et al.* , 1995] BRAESCH C., *et al.* (1995). La modélisation systémique en entreprise, Hermès.

[BREAS M., 1993] BREAS M. (1993). Problématique de l'intégration de l'Action Individuelle dans les Systèmes Technologiques - Application : utilisation de la description des fonctions pour favoriser l'Autonomie. Institut National Polytechnique de Lorraine. Nancy.

[CALVEZ J.-P., 1992] CALVEZ J.-P. (1992). Spécification et conception des systèmes, une méthodologie, Editions Masson.

[CAMPBELL-PLATT G., 2002] CAMPBELL-PLATT G. (2002). "HACCP/food safety objectives." Food Control **13**(6-7): 353-353.

[CAS, 2003] CAS (2003). The Casualty Actuarial Society - Enterprise Risk Management Committee- Overview of Enterprise Risk Management.

[CATTAN M., *et al.* , 2001] CATTAN M., *et al.* (2001). Maîtriser les processus de l'entreprise : guide opérationnel. Paris, Editions d'organisation.

[CEN 40003, 2001] CEN 40003 (2001). "(Comité Européen de Normalisation) - Enterprise integration – Framework for enterprise modeling."

[CHAPURLAT V., 2007] CHAPURLAT V. (2007). Vérification et validation de modèles de systèmes complexes : application à la Modélisation d'Entreprise, Université Montpellier II, France. **HdR**.

[CHAPURLAT V. et ALOUI S., Year] CHAPURLAT V. et ALOUI S. (2006). How to detect risks with a formal approach? From property specification to risk emergence. MSVVEIS-2006, The 4th International Workshop on Modelling, Simulation, Verification and Validation of Enterprise Information Systems on ICEIS, 8th International Conference on Enterprise Information Systems, Paphos, Cyprus.

[CHAPURLAT V. et ALOUI S., 2007] CHAPURLAT V. et ALOUI S. (2007). Une démarche intégrée pour l'ingénierie de système complexe face aux risques. 7ème Congrès International de Génie Industriel. Trois-Rivières, Canada.

[CHAPURLAT V., *et al.* , 2003] CHAPURLAT V., *et al.* (2003). "Enterprise model verification and validation: an approach." Annual Review in Control **27**(2): 185-197.

[CHAPURLAT V., *et al.* , 2005] CHAPURLAT V., *et al.* (2005). A proposition for risks analysis in manufacturing and enterprise modelling. Knowledge Sharing in the Integrated Enterprise (Interoperability Strategies for the Enterprise Architect) P. Bernus and M. Fox. New York, Springer-Verlag **183:** 193-202.

[CHARHAD M., *et al.* , Year] CHARHAD M., *et al.* (2005). Une Approche Conceptuelle pour la Modélisation et la Structuration Sémantique des Documents Vidéos. SETIT - 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, TUNISIA.

[CHEIN M. et MUGNIER M-L, 1992] CHEIN M. et MUGNIER M-L (1992). "Conceptual graphs: fundamental notions." Revue d'intelligence artificielle **6**(4): 365-406.

[CHEN D., *et al.* , 1997] CHEN D., *et al.* (1997). "GRAI integrated methodology and its mapping onto generic enterprise reference architecture and methodology." Computers in Industry **33**(2-3): 387-394.

[COGITANT, 2005] COGITANT (2005). CoGITaNT Version-5.1 – Reference Manual (voir http://cogitant.sourceforge.net).

[CXP, 2007] CXP. (2007). "Veille et expertise sur les progiciels, aide au choix." from http://www.cxp.fr/.

[CZARNECKI K. et HELSEN S., Year] CZARNECKI K. et HELSEN S. (2003). Classification of model transformation approaches. Proceedings of the 2nd OOPSLA Workshop on Generative Techniques in the Context of the Model Driven Architecture.

[DAFEL A. et JACKSON P., 2000] DAFEL A. et JACKSON P. (2000). "In the eye of the beholder." Camagazine

[DARRAS F., *et al.* , Year] DARRAS F., *et al.* (2003). La place et le role de la modélisation dans les projets ERP. MOSIM03- 4e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation- Organisation et Conduite d'Activités dans l'Industrie et les Services, Toulouse, France.

[DE ROSNAY J., 1975] DE ROSNAY J. (1975). Le macroscope, Le Seuil.

[DÉCRET NO 99-249, 1999] DÉCRET NO 99-249 (1999). Décret no 99-249 du 31 mars 1999 relatif aux substances vénéneuses et à l'organisation de l'évaluation de la pharmacodépendance, modifiant le code de la santé publique D. e. C. d'Etat, Journal Officiel.

[DEMARCO T., 1981] DEMARCO T. (1981). Structural analysis and Systems Specification, Yourdon P., U.S.

[DÖRR M., *et al.* , 2001] DÖRR M., *et al.* (2001). State of the art in contents standards. Technical Report Deliverable 3.1, Version 1.0, Ontoweb Consortium.

[DOUMEINGTS G., *et al.* , 2000] DOUMEINGTS G., *et al.* (2000). "Production management and enterprise modelling." Computers in Industry **42**(2-3): 245-263.

[DUCQ Y., *et al.* , 2005] DUCQ Y., *et al.* (2005). "Reengineering of health system with the GRAI methodology." Journal européen des systèmes automatisés **39**(no5-6): 605-636

[EPSTEIN R. M. et HUNDERT E. M., 2002] EPSTEIN R. M. et HUNDERT E. M. (2002). "Defining and assessing professional competence." Jama-Journal of the American Medical Association **287**(2): 226-235.

[FAISANDIER A., Year] FAISANDIER A. (2005). Revisiting the notion of system - Organizations and Enterprises as systems. INCOSE 2005, 15th Annual International Symposium, Systems Engineering: Bridging Industry, Government, and Academia, Rochester, New York, USA.

[FAO, 2003] FAO (2003). (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) - Manuel sur l'application du Système de l'analyse des risques - points critiques pour leur maîtrise (HACCP) pour la prévention et le contrôle des mycotoxines (ÉTUDE FAO ALIMENTATION ET NUTRITION).

[FOULARD C., 1994] FOULARD C. (1994). La modélisation en entreprise CIMOSA et ingénierie simultanée. France, HERMES.
[GENEST D., 2003] GENEST D. (2003). CoGITaNT versionn-5.1- Manuel de référence.
[GME, 2005] GME (2005). GME 5 User's Manual - Version 5.0 - Institute for Software Integrated Systems, Vanderbilt University.
[GME, 2006] GME (2006). The Generic Modeling Environment, (voir http://www.isis.vanderbilt.edu/projects/gme/).
[GRANDHAYE J.-P. et RAKOTONDRANAIVO A., 2004] GRANDHAYE J.-P. et RAKOTONDRANAIVO A. (2004). "Modélisation et performance des réseaux de santé: Contribution à la prise en charge des patients." Journal européen des systèmes automatisés (J. eur. syst. autom.) **38** (6): 725-749.
[GRANGEL R., *et al.* , Year] GRANGEL R., *et al.* (2007). Interopérabilité guidée par les modèles : transformation de modèle GRAI en modèles UML. CIGI 7ème Congrès International de Génie Industriel Trois Rivière, Canada, 5 au 8 juin 2007.
[GUINET A. et CHAABANE S., 2003] GUINET A. et CHAABANE S. (2003). "Operating Theatre Planning." International Journal of Production Economics (IJPE) **85**: 69-81.
[GUINET A., *et al.* , Year] GUINET A., *et al.* (2006). Ordonnancement des interventions d'un bloc opératoire avec contraintes de chirurgiens nomades. GISEH06, Gestion et Ingénierie des SystÈmes Hospitaliers, Luxembourg.
[HANSSENS D., 2003] HANSSENS D. (2003). Développement de la fonction de risk manager dans l'entreprise. Faculté des sciences économiques, sociales et de gestion. Namur, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
[HAREL D., 1987] HAREL D. (1987). "Statecharts: A visual formalism for complex systems. ." Science of Computer Programming, **8**(3): 231-274.
[HARZALLAH M., 2000] HARZALLAH M. (2000). Modélisation des Aspects Organisationnels pour la Réorganisation d'Entreprise Industrielles, Université de Metz.
[HAS, 2004] HAS (2004). Manuel d'accréditation des établissements de santé. Deuxième procédure d'accréditation, Haute Autorité de Santé.
[HEES M., 2000] HEES M. (2000). Le management: science, art, magie ? Pour un retour à la parole des "managés". Paris, Seli Arslan.
[HINDS P., *et al.* , 2000] HINDS P., *et al.* (2000). "Choosing Work Group Members: Balancing Similarity, Competence and Familiarity." Organizational Behavior and Human Decision Processes **81**(2): 226-251.
[HJELSVOLD R. et MIDTSTRAUM R., Year] HJELSVOLD R. et MIDTSTRAUM R. (1994). Modelling and Querying Video Data. 20 th VLDB Conference Santiago, Chile.
[I G L TECHNOLOG, 2006] I G L TECHNOLOG (2006). SADT. Un langage pour communiquer Eyrolles
[IEEE, 1990] IEEE (1990). Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. New York, USA., Institute of Electrical and Electronics Engineers.
[IEEE, 1994] IEEE (1994). P1220. Trial-Use Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process, Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Department.
[IFIP–IFAC TASK FORCE ON ARCHITECTURES FOR ENTERPRISE INTEGRATION, 1999] IFIP–IFAC TASK FORCE ON ARCHITECTURES FOR ENTERPRISE INTEGRATION (1999). GERAM : Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology (Version 1.6.3).
[IGLEHART J. K., 1999] IGLEHART J. K. (1999). "The American Health Care System - Expenditures (vol 340, pg 70, 1999)." New England Journal of Medicine **340**(7): 576-576.
[INRIA, 2007] INRIA (2007). Corese Semantic Web Factory: a semantic Web search engine based on Conceptual Graphs.
[INVS, 2007] INVS (2007). (Institut de veille sanitaire)- Enquête nationale de prévalence des infections nosocomiales, juin 2006 - Résultats préliminaires, janvier 2007.

[ISO 9000, 2000] ISO 9000 (2000). (Organisation internationale de normalisation) - Normes internationales ISO 9000 relatives au management de la qualité, ISO.

[ISO/CEI 51, 2002] ISO/CEI 51 (2002). (Organisation internationale de normalisation)/(Commission électrotechnique internationale), Aspects liés à la sécurité - Principes directeur, ISO.

[ISO/CEI 73, 2002] ISO/CEI 73 (2002). Management du risque – Vocabulaire – Principes directeurs pour l'utilisation dans les normes (Organisation internationale de normalisation)/(Commission électrotechnique internationale), ISO**:** 16.

[ISO/TS 18876-1, 2003] ISO/TS 18876-1 (2003). Industrial automation systems and integration – integration of industrial data for exchange, access and sharing – part 1: Architecture overview and description. Technical report, International Organisation for Standardisation.

[JACOT J.-H., 1990] JACOT J.-H. (1990). A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production. Paris, Economica.

[JAGDEV H. S., *et al.* , 1995] JAGDEV H. S., *et al.* (1995). "Verification and validation issues in manufacturing models." Computers in Industry **25**: 331-353.

[JANSSEN W., *et al.* , Year] JANSSEN W., *et al.* (1997). What makes business processes special ? an evaluation framework for modelling languages and tools in business process redesign. 2nd CAiSE/IFIP 8.1 international workshop on evaluation of modeling methods in systems analysis and design, Barcelona, In Siau, Wand and Parsons (Eds.).

[JEBALI A., *et al.* , 2006] JEBALI A., *et al.* (2006). "Operating rooms scheduling." International Journal of Production Economics **99**(1-2): 52-62.

[JEZEQUEL N. et RAYMOND J.-L., 2002] JEZEQUEL N. et RAYMOND J.-L. (2002). Risques et vigilances sanitaires - Organisation et coordination dans les établissements de santé.

[KAMSU-FOGUEM B., 2004] KAMSU-FOGUEM B. (2004). Modélisation et Vérification des propriétés de systèmes complexes : Application aux processus d'entreprise, Université de Montpellier II. **Ph. D**.

[KAMSU-FOGUEM B. et CHAPURLAT V., 2006] KAMSU-FOGUEM B. et CHAPURLAT V. (2006). "Requirements modelling and formal analysis using graph operations." International Journal of Production Research **44**(17): 3451-3470.

[KERVERN G.-Y., 1995] KERVERN G.-Y. (1995). Eléments fondamentaux des cindyniques, Economica.

[KLETZ T. A., 1997] KLETZ T. A. (1997). "Hazop - Past and future." Reliability Engineering & System Safety **55**(3): 263-266.

[KOHN L. T., *et al.* , 2000] KOHN L. T., *et al.* (2000). To err is human: building a safer health system. National Academy Press. C. o. Q. o. H. C. I. America. Washington, Institute Of Medicine**:** 1500.

[KOLIADIS G., *et al.* , 2006] KOLIADIS G., *et al.* (2006). "Combining i* and BPMN for Business Process Model lifecycle management." Business Process Management Workshops **4103**: 416-427.

[LAKNER R., *et al.* , 2006] LAKNER R., *et al.* (2006). "Multiagent realization of prediction-based diagnosis and loss prevention." Advances in Applied Artificial Intelligence, Proceedings **4031**: 70-80.

[LAMINE E., 2001] LAMINE E. (2001). Définition d'un modèle de propriété et proposition d'un langage de spécification associé : LUSP, Université Montpellier II. **PhD**.

[LANDY G., 2002] LANDY G. (2002). AMDEC. Guide pratique Afnor

[LARKIN F., 1996] LARKIN F. (1996). "HAZOP study from theory to practice." Process Engineering **77**(3): 26-27.

[LAROUSSE, 2003] LAROUSSE (2003). Le petit Larousse, dictionnaire.

[LE MOIGNE J.-L., 1977] LE MOIGNE J.-L. (1977). La théorie du Système Général, Edition PUF.

[LE MOIGNE J.-L., 1990] LE MOIGNE J.-L. (1990). La modélisation des systèmes complexes. Paris, Bordas, Dunot.

[LEAPE L. L., 2002] LEAPE L. L. (2002). "Reporting of adverse events." New England Journal of Medicine **347**(20): 1633-1638.

[LEDECZI A., *et al.* , Year] LEDECZI A., *et al.* (2001). The Generic Modeling Environment. WISP'2001 - IEEE, Budapest, Hungary.

[LISSANDRE, 1997] LISSANDRE (1997). Maîtriser sadt 102497, Armand Colin

[LOI 91-748, 1991] LOI 91-748 (1991). Loi du 31 juillet 1991portant réforme hospitalière, Journal Officiel.

[LOI 5126-5 DU CODE DE LA SANTE PUBLIQUE, 17 janvier 2002] LOI 5126-5 DU CODE DE LA SANTE PUBLIQUE (17 janvier 2002). Art. 2 quater F - Commission des médicaments et des dispositifs médicaux stériles.

[LOI N°2002-303, 2002] LOI N°2002-303 (2002). Loi n°2002-303, du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé, Journal Officiel.

[LOI N° 91-1414, 1992] LOI N° 91-1414 (1992). LOI no 91-1414 du 31 décembre 1991 modifiant le code du travail et le code de la santé publique en vue de favoriser la prévention des risques professionnels et portant transposition de directives européennes relatives à la santé et à la sécurité du travail, Journal Officiel. **91-1414**

[LOI N° 98-535, 1998] LOI N° 98-535 (1998). LOI n° 98-535 du 1er juillet 1998 relative au renforcement de la veille sanitaire et du contrôle de la sécurité sanitaire des produits destinés à l'homme, Journal Officiel.

[LOI N° 2004-806, 2004] LOI N° 2004-806 (2004). Loi n° 2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique et liens vers les décrets d'application, Journal Officiel.

[LONG J., 2002] LONG J. (2002). Relationships between Common Graphical Representations in Systems Engineering Vitech Corporation

[MACCHI M. et GARETI M., Year] MACCHI M. et GARETI M. (2001). Enterprise interoperability : a critical survey of modelling method with special concern to manufacturing systems engineering. INCOM 2001, 10th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Vienna University of Technology, Vienna, Austria Elsevier.

[MARTY J., 2003] MARTY J. (2003). Organisation qualité et gestion du risque en anesthésie réanimation. Paris, Masson.

[MEINADIER J.-P., 1998] MEINADIER J.-P. (1998). Ingénierie et intégration des systèmes, Hermes.

[MENZEL C. et MAYER R., 1998] MENZEL C. et MAYER R. (1998). The IDEF Family of Languages in Handbook on architectures of information systems,. Berlin, Springer.

[MINISTERE DE LA SANTE, 2003] MINISTERE DE LA SANTE (2003). Ministère de la Santé de la Famille et des Personnes handicapées - Hôpital 2007 - La lettre d'information de la Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins, Edition du service de l'information et de la communication.

[MONGILLON P. et VERDOUX S., 2003] MONGILLON P. et VERDOUX S. (2003). L'entreprise orientée processus : aligner le pilotage opérationnel sur la stratégie et les clients. Paris, AFNOR.

[MONTMAIN J. et PENALVA J.-M., 2007] MONTMAIN J. et PENALVA J.-M. (2007). "La décision, une rupture - La perspective du management du risque." Revue 2001+ du Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement. .

[MORIN E., 1977] MORIN E. (1977). La Méthode - la nature de la nature, Le Seuil.

[NASLIN P., 1974] NASLIN P. (1974). Rapport de conjoncture du CNRS, Automatique.

[NICOLLET J.-L., Year] NICOLLET J.-L. (1999). Vaches folles et hyper espace des dangers Ecole d'été "Gestion Scientifique du risque " Alby.

[OMG, 2003] OMG (2003). OMG: MDA Guide Version 1.0.1. Object Management Group. Document number: omg/2003-06-01.

[ORDONNANCES JUPPE, 1996] ORDONNANCES JUPPE (1996). Ordonnance Relative au remboursement de la dette sociale ; aux mesures urgentes tendant au rétablissement de l'équilibre financier de la Sécurité sociale ; portant mesures relatives à l'organisation de la Sécurité sociale ; relative à la maîtrise médicalisée des dépenses de soins; portant réforme de

l'hospitalisation publique et privée. (Ordonnance n° 96-50 / 96-51 / 96-344 / 96-345 / 96-346), Journal Officiel.
[OUSSALAH C., 1997] OUSSALAH C. (1997). Ingénierie objet: Concepts et techniques Dunod.
[PABADIS, 2006] PABADIS (2006). Definition of Overall PABADIS' PROMISE Control System Architecture - European Project - Deliverable 2.0.
[PANETTO H., 2006] PANETTO H. (2006). Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production, Université Henri Poincaré – Nancy I. **HdR**.
[PARUNAK V. D. H. et BRUECKNER S., Year] PARUNAK V. D. H. et BRUECKNER S. (2001). Entropy and self-organization in multi-agent systems. International Conference on Autonomous Agents Agents, Montreal, Quebec, Canada, ACM Press New York,.
[PEARL J., Year] PEARL J. (1999). Reasoning with Cause and Effect. In proceedingd if the international Joint Conference On Artificial Intelligence, San Francisco, USA.
[PENALVA J. M., 1997] PENALVA J. M. (1997). La modélisation par les systèmes en situations complexes. Paris, Université de Paris XI - Paris Sud. **Ph.D**.
[PENALVA J. M., 2004] PENALVA J. M. (2004). Situations et systèmes complexes, Ecole des Mines d'Alès (EMA) Laboratoire de Génie Informatique et d'Ingénierie de la Production (LGI2P).
[PERILHON P., 1999] PERILHON P. (1999). "MOSAR : Présentation de la méthode." Techniques de l'Ingénieur - traité Sécurité et gestion des risques.
[PERILHON P., 2003] PERILHON P. (2003). "MOSAR : Présentation de la méthode." Techniques de l'Ingénieur - traité Sécurité et gestion des risques **2**.
[PETIT M. et DOUMEINGTS G., 2002] PETIT M. et DOUMEINGTS G. (2002). Deliverable D1.1 Report on the State of the Art in Enterprise Modelling, University of Namur.
[POPKIN S., 2003] POPKIN S. (2003). Enterprise modelling: Aligning Business and Information Technology.
[POURCEL C. et GOURC D., 2005] POURCEL C. et GOURC D. (2005). Modelisation d'entreprise par les processus : Activité, organisation & applications, Cepadues.
[REILLY A. et KAFERSTEIN F., 1997] REILLY A. et KAFERSTEIN F. (1997). "Food safety hazards and the application of the principles of the hazard analysis and critical control point (HACCP) system for their control in aquaculture production." Aquaculture Research **28**(10): 735-752.
[RODDE G., 1991] RODDE G. (1991). Les systèmes de production – modélisation et performance, Éditions Hermès.
[ROQUES P. et VALLEE F., 2007] ROQUES P. et VALLEE F. (2007). UML 2 en action, Editions Eyrolles.
[ROSS D. et SCHOMAN K., 1977] ROSS D. et SCHOMAN K. (1977). "Structured analysis for requirements definition." IEEE Trans. on Software Engineering **3**(1): 6-15.
[SCHEER A.-W., 1994] SCHEER A.-W. (1994). "ARIS Toolset: A software product is born." Information Systems **19**(8): 607-624.
[SCHOLTES J.-L., 2001] SCHOLTES J.-L. (2001). "L'hôpital se met au matriciel." Revue Hospital.be **246**(3).
[SCIPIONI A., *et al.* , 2002] SCIPIONI A., *et al.* (2002). "FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company." Food Control **13**(8): 495-501.
[SHEARD S., 2006] SHEARD S. (2006). "Definition of the Sciences of Complex Systems." Insight INCOSE **9**(1): 25-26.
[SOCIETE FRANÇAISE DE PHARMACIE CLINIQUE, 1997] SOCIETE FRANÇAISE DE PHARMACIE CLINIQUE. (1997). "Référentiel de Pharmacie Hospitalière." from http://www.adiph.org/sfpc/referentiel.html.
[SOWA J. F., 1984] SOWA J. F. (1984). Conceptual structures: information processing in mind and machine. New York (U.S.A.), Addison-Wesley Longman Publishing.
[SPUR G., *et al.* , 1996] SPUR G., *et al.* (1996). Integrated Enterprise Modelling. Berlin, Beuth Verlag GmbH.

[STACCINI P., *et al.* , 2005] STACCINI P., *et al.* (2005). "Mapping care processes within a hospital: from theory to a web-based proposal merging enterprise modelling and ISO normative principles." International Journal of Medical Informatics **74**(2-4): 335-344.
[SUNDSTRÖM G. et HOLLNAGEL E., 2006] SUNDSTRÖM G. et HOLLNAGEL E. (2006). Learning How to Create Resilience in Business Systems. Resilience Engineering. Concepts and precepts. D. W. N. L. E. Hollnagel. Aldershot, UK, Ashgate 397.
[TARDIEU H., *et al.* , 2000] TARDIEU H., *et al.* (2000). La Méthode Merise : Principes et outils Editions d'Organisation.
[TIXIER J., 2002] TIXIER J. (2002). Méthodologie d'évaluation du niveau de risque d'un site industriel de type Seveso, basée sur la gravité des accidents majeurs et la vulnérabilité de l'environnement. Biosciences de l'environnement, chimie et santé, Aix Marseille **PhD:** 259.
[TRIVIUM, 2005] TRIVIUM (2005). Triviumsoft : logiciels Gingo et See-k
[USCHOLD M. et GRUNINGER M., 1996] USCHOLD M. et GRUNINGER M. (1996). "Ontologies: Principles, methods and applications." Knowledge Engineering Review **11**(2): 93-136.
[USCHOLD M., *et al.* , 1998] USCHOLD M., *et al.* (1998). "The Enterprise Ontology." Knowledge Engineering Review **13**(1): 31-89.
[VALLESPIR B., *et al.* , Year] VALLESPIR B., *et al.* (2003). L'intégration en modélisation d'entreprise : les chemins d'UEML. MOSIM03- 3ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, Toulouse.
[VAN LAMSWEERDE A., 2000] VAN LAMSWEERDE A. (2000). Formal specification: a roadmap. ICSE - Future of SE Track**:** 147-159.
[VERNADAT F., 1996] VERNADAT F. (1996). "Enterprise integration: On business process and enterprise activity modelling." Concurrent Engineering-Research and Applications **4**(3): 219-228.
[VERNADAT F., 1999] VERNADAT F. (1999). Techniques de Modélisation en Entreprise: Applications aux Processus Opérationnels. Paris, Edition Economica.
[VERNADAT F., Year] VERNADAT F. (2001). UEML: Towards a Unified Enterprise Modelling Language. 3ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation - MOSIM'01, Troyes, France.
[VERNADAT F., 2002a] VERNADAT F. (2002a). "UEML: towards a unified enterprise modelling language." International Journal of Production Research **40**(17): 4309-4321.
[VERNADAT F. B., 2002b] VERNADAT F. B. (2002b). "Enterprise modeling and integration (EMI): Current status and research perspectives." Annual Reviews in Control **26**(1): 15-25.
[VICKERS G., 1965] VICKERS G. (1965). The Art of Judgement, Methuen. Londres.
[W3C, 2007] W3C (2007). World Wide Web Consortium - Extensible Markup Language : XML.
[WALLISER B., 1977] WALLISER B. (1977). Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes, Editions du Seuil
[WILLIAMS T., 1994] WILLIAMS T. (1994). "The Purdue Enterprise Reference Architecture." Computers in Industry **24**(2-3): 141-158.
[WILLIAMS T. J. et LI H., 1997] WILLIAMS T. J. et LI H. (1997). "The task force specification for GERAM and its fulfillment by PERA." Annual Reviews in Control **21**: 137-147.
[WOHED P., *et al.* , 2006] WOHED P., *et al.* (2006). "On the suitability of BPMN for business process modelling." Business Process Management, Proceedings **4102**: 161-176.
[YAHODA, 2003] YAHODA (2003). web site presenting an overview of formal verification tools (see http://anna.fi.muni.cz/yahoda/)
[ZELM M., 2001] ZELM M. (2001). Enterprise modelling - constructs comparison (state of the art) Technical report, CIMOSA Association.
[ZELM M., *et al.* , 1995] ZELM M., *et al.* (1995). "The Cimosa Business Modeling Process." Computers in Industry **27**(2): 123-142.
[ZUPA E., *et al.* , 2006] ZUPA E., *et al.* (2006). "Using Failure Mode Effect Analysis (FMEA) to improve medication safety." Oncology Nursing Forum **33**(2): 417-417.