

## $\mathcal{M}_A\mathcal{M}A-S$ : Phase de spécification d'un modèle de simulation pour un système industriel distribué

Stéphane Galland, Frédéric Grimaud, Jean-Pierre Campagne

Laboratoire *Systèmes Industriels Coopératifs*  
Ecole Nationale Supérieure des Mines  
158, Cours Fauriel, Saint-Etienne, 42023 Cedex 2, France  
mél: {galland,grimaud,campagne}@emse.fr

**RÉSUMÉ :** *Nous nous situons dans le contexte de la simulation de systèmes industriels complexes et distribués en terme opérationnel, décisionnel et informationnel. Nous proposons une approche méthodologique permettant de tenir compte de la distribution informatique des modèles de simulation et de la modélisation du système selon une approche systémique. Dans ce cadre, cet article présente la phase de spécification du modèle de simulation.*

**MOTS-CLÉS :** *Simulation, Système de production, Modélisation, Systèmes multi-agents, Méthodologie*

### 1 INTRODUCTION

La simulation est un outil privilégié et adapté aux problèmes industriels modernes. Elle permet de tenir compte des aspects dynamiques lors de l'étude du comportement d'un système de production. Mais les distributions opérationnelle, informationnelle et décisionnelle sont encore rarement gérées au sein de même outils. De plus les outils de simulation modernes sont peu souvent accompagnés d'une méthodologie complète et adaptée. Dans (Galland et al., 1999) nous proposons une approche méthodologique multi-agents ( $\mathcal{M}_A\mathcal{M}A-S$ <sup>1</sup>) pour la simulation tenant compte de ces trois aspects de la distribution. Nous citerons toutefois l'existence de méthodologies intéressantes sur lesquelles nous avons basé nos travaux : ASCI (Laizé, 1998; Grimaud, 1996), CM (Nance, 1981), ...

$\mathcal{M}_A\mathcal{M}A-S$  est une méthodologie basée sur un cycle de vie composé de cinq étapes principales (Galland et Grimaud, 2000a) : l'analyse, la spécification, la conception, l'implémentation et les expérimentations. Dans cet article nous présentons la phase de spécification. Cette phase permet la création d'un modèle de simulation s'abstrayant de tout outil de simulation ou de plateforme multi-agents. Nous définissons un formalisme par l'intermédiaire de métamodèles UML (Booch et al., 1997). Ce formalisme tient compte des sous-systèmes opérationnel, décisionnel et informationnel d'un système de production (Le Moigne, 1992).

La section suivante est un bref aperçu du contexte dans lequel se placent nos travaux. Dans la section 3,

nous présentons la phase de spécification d'un modèle de simulation abstrait. Enfin nous concluons et exposons nos perspectives.

### 2 PROBLMATIQUE ET PROPOSITIONS

#### 2.1 Domaine de recherche

Depuis plusieurs dizaines d'années a émergé un nouveau concept capable d'aider à la résolution de problèmes complexes dans des domaines divers. Cette notion d'approche systémique est issue des travaux de Von Bertalanffy, Wiener, Shannon, Forrester (Durand, 1975) et (De Rosnay, 1975). Elle définit un système comme un «ensemble d'éléments en interaction, organisés en fonction d'un but». Dans le cadre de nos travaux de recherche, nous nous intéressons plus particulièrement à la classe des systèmes industriels de production à flux discrets et à partage de ressources (Leroudier, 1980).

Les systèmes de production posent lors de leur conception et de leur exploitation un certain nombre de problèmes structurels, fonctionnels et organisationnels (Grimaud, 1996). Ils peuvent être regroupés en six catégories de problèmes : dimensionnement, fonctionnement, productivité, maintenance, aléas ou pannes des ressources, ordonnancement. L'un des moyens que possèdent les gestionnaires des systèmes de production pour répondre à ces problèmes est l'utilisation de la simulation et plus particulièrement de la simulation à événements discrets (Leroudier, 1980). Elle permet la modélisation symbolique d'un système de production, la prise en compte de phénomènes stochastiques et des dynamismes des systèmes.

<sup>1</sup>Multi-Agent Methodological Approach for Simulation

## 2.2 Problématique

Dans cette section, nous décrivons les quatre problèmes rencontrés durant la modélisation et la simulation de systèmes industriels et qui nous intéressent particulièrement.

### 2.2.1 Formalisation

L'un des premiers problèmes rencontrés durant la phase de modélisation pour la simulation d'un système manufacturier est le manque de définition formelle des éléments constituant ces derniers. Ainsi les outils de simulation influencent fortement la vision des concepteurs. Par exemple, les outils ARENA® et SIMPLE++® n'offrent pas la même vision quant à la modélisation. De plus la qualité des modèles de simulation est dépendante des compétences des concepteurs. Rares sont les règles définissant les contraintes structurelles acceptables pour les modèles de simulation. Le problème de la formalisation est partiellement résolu par l'existence de méthodologies de modélisation de systèmes industriels comme ASCI (Kellert et Ruch, 1998), CM (Nance, 1981), IDEF (US Air Force, 1993), ... Mais elles permettent la modélisation de systèmes industriels avec un point de vue difficilement transposable directement en un modèle de simulation.

### 2.2.2 Modularité

Un autre problème rencontré actuellement par les concepteurs de modèles de simulation est la faible modularité de ces derniers. En effet, même si les concepts de modèle et de sous-modèle sont souvent présents dans les outils de simulation, il reste souvent difficile de construire des modèles totalement modulaires. Par exemple, l'utilisation d'un sous-modèle déjà développé impose souvent de réaliser une copie de celui-ci et de l'incorporer dans le nouveau modèle de simulation. Cette duplication, quoique qu'utile, ne permet pas de repérer automatiquement une modification dans toutes des instances des sous-modèles copiés.

### 2.2.3 Mise en évidence des flux et des sous-systèmes

Un système de production est parcouru par les flux d'entités et les flux d'informations (Le Moigne, 1992). Ces flux sont distincts même s'il existe de très fortes interactions entre eux. Actuellement, les modèles de simulation incluent ces deux types de flux sans toutefois les mettre en évidence l'un par rapport à l'autre. Cette vision de la modélisation d'un système de production ne va pas sans poser quelques problèmes. En effet, la compréhension du modèle de simulation reste difficile car il faut faire un effort souvent conséquent pour différencier les flux d'entités et les flux d'informations. Un autre problème est mis en évidence lorsque le concepteur désire réaliser une modification d'un des

flux *e.g.*, passage d'une gestion en flux poussé à une gestion en flux tir. Dans ce cas la forte imbrication des flux impose souvent une reconstruction totale du modèle de simulation.

### 2.2.4 Centralisation

Un problème majeur rencontré à la fois par les méthodologies et les outils de simulation est la centralisation des modèles et des processus de simulation.

Actuellement, les connaissances sont souvent regroupées au sein d'une même équipe spécialisée, voire chez un seul concepteur. Cette vision peut suffire de nombreux cas mais parfois elle pose des problèmes inhérents tout système centralisé. Par exemple, les concepteurs de modèles de simulations peuvent avoir une vision trop restrictive ou incomplète du système de production. De plus il faut pouvoir centraliser toutes les informations nécessaires à la bonne marche de la simulation. De nombreux problèmes de communications peuvent exister entre les concepteurs et les personnes connaissant réellement le système de production (chef d'atelier, ouvrier, ...).

La centralisation du processus de simulation pose non seulement des problèmes quant aux connaissances mais aussi génère des difficultés de plus en plus importantes : besoins en ressources calculatoires de plus en plus importants de part les dimensions des systèmes simulés, besoins de gérer les problèmes de confidentialité, ...

## 2.3 Propositions : $\mathcal{MA}^2\mathcal{MA}-S$

### 2.3.1 Approche méthodologique

Pour résoudre en partie les problèmes de la décentralisation des informations et des connaissances ainsi que ceux des temps de modélisation et de simulation, la communauté scientifique s'est penchée sur la mise en œuvre de simulations distribuées selon deux approches majeures : la répartition informatique des modèles *e.g.*, les problèmes de synchronisation (Filloque, 1992) ; et la distribution des connaissances *e.g.*, la représentation des sociétés dans un contexte mondial (Burlat, 1996). La simulation distribuée comportant ces deux axes permet de tenir compte des particularités mondialistes des entreprises *i.e.*, les problèmes de culture technique, de connaissances et de répartition géographique peuvent être pris en compte par un modèle de simulation distribué. Les outils existants sont fortement dépendants d'un domaine d'activité *e.g.*, AREVI<sup>2</sup> se concentre sur la représentation virtuelle des systèmes (Duval et al., 1997), SWARM est un environnement de simulation adapté aux systèmes de vie artificielle (Burkhart, 1994). Enfin, certains outils ne tiennent compte que d'un as-

<sup>2</sup>Atelier de Réalité Virtuelle

pect de la distribution de modes de simulation *e.g.*, HLA (US Department of Defense, 1996) est une architecture permettant de faire communiquer des modes distants de simulation mais, afin d'être utilisable dans la majeure partie des cas, il se limite la prise en compte de la distribution informatique des modes de simulation.

Nous nous proposons de concevoir une approche méthodologique (Galland et al., 1999) base sur les concepts multi-agents <sup>3</sup> (Ferber, 1995). Nous utilisons l'approche Voyelles (ou AEIO) définie par (Demazeau, 1995) : un système multi-agents (SMA) est défini selon quatre aspects majeurs que sont les **A**gents, l'**E**nvironnement, les **I**nteractions et l'**O**rganisation. Les systèmes multi-agents rendent réalisables les trois aspects de la distribution d'un système industriel :

**distribution physique** L'autonomie et les capacités d'interaction des agents permettent de réaliser la fois la distribution au sein d'un réseau informatique, et la répartition des différentes parties du système industriel en associant chaque agent l'une d'elles ;

**distribution informationnelle** Les capacités cognitives et interactionnelles des agents permettent de distribuer l'information ;

**distribution décisionnelle** Les mécanismes cognitifs composant les agents permettent de mettre en place des processus de prise et de propagation des décisions.

De plus la modularité engendrée par l'utilisation des systèmes multi-agents nous permet de répondre un autre point crucial au niveau industriel : la réutilisation des connaissances et des outils déjà existants. La figure 1 est une illustration de l'architecture multi-agents mise en place par notre méthodologie. Elle est composée de modes de simulation représentant des systèmes réels ou virtuels. Ces différents modes peuvent être soit des modes manipulés par des outils de simulation existants comme ARENA® ou SIMPLEX++, soit une société d'agents réalisant la même tâche. Ces différents modes de simulation sont interconnectés grâce à une autre société d'agents. Cette dernière permet la transmission d'informations et d'entités entre les modes de simulation distants.

### 2.3.2 Cycle de vie

Notre approche méthodologique  $\mathcal{M}_{A\mathcal{M}A-S}$  est basée sur le cycle de vie illustré par la figure 2 (Galland et Grimaud, 2000a). Il est composé de cinq phases principales :

**L'Analyse** permet de rédiger un cahier des charges

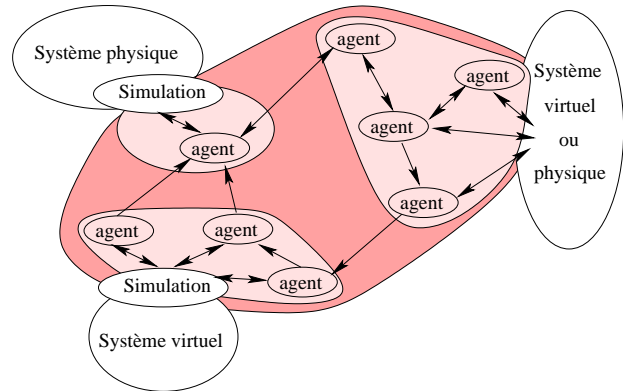


Figure 1. Système multi-agents permettant la simulation distribuée

contenant la définition informelle du système de production à simuler, ainsi que les divers objectifs devant être atteints par le modèle informatique de simulation ;

**la Spécification** est l'étape durant laquelle les concepteurs construisent un modèle abstrait de simulation *i.e.*, un modèle représentant le système de production qui soit indépendant de toute plateforme SMA ou outil de simulation ;

**la Conception** a pour rôle de transformer le modèle abstrait en un modèle de simulation orienté agents ;

**l'Implantation** consiste à choisir les outils de simulation et les plateformes SMA devant instancier le modèle produit par la phase de Conception ;

**l'Exploitation** est la dernière étape majeure de notre cycle de vie. Elle consiste en l'application de plans d'expériences sur le modèle informatique de simulation.

Dans la section suivante, nous décrivons l'une des étapes du cycle de vie de  $\mathcal{M}_{A\mathcal{M}A-S}$  : la spécification d'un modèle de simulation.

## 3 SPÉCIFICATION D'UN MODÈLE DE SIMULATION

Nous présentons dans cette section la première étape importante du cycle de vie de notre approche méthodologique  $\mathcal{M}_{A\mathcal{M}A-S}$ . Nous commençons par définir ce qu'est la phase de spécification. Ensuite, nous présentons un formalisme suffisamment général pour permettre la modélisation de systèmes industriels complexes et distribués. Nous terminons cette section par un aspect important de la modélisation qui est la vérification des cohérences structurelles et sémantiques des modèles.

<sup>3</sup>Multi-Agent Methodological Approach for Simulation ou  $\mathcal{M}_{A\mathcal{M}A-S}$

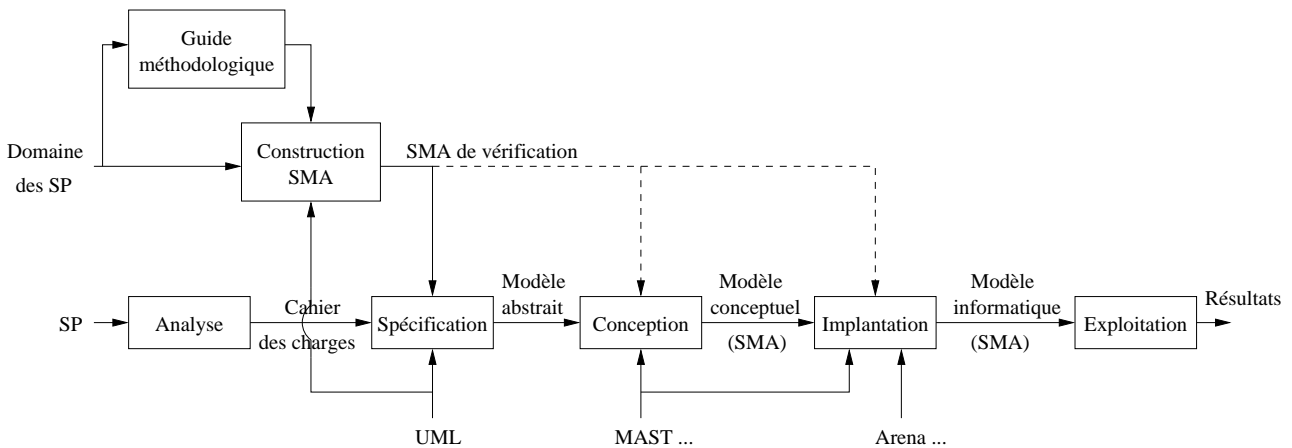


Figure 2. Cycle de vie

### 3.1 Phase de spécification

La spécification permet de créer un modèle abstrait de simulation. Nous considérons que le modèle de simulation créé durant cette phase est suffisamment général pour pouvoir être traduit puis utilisé par des méthodologies ou des outils de simulation existants. Notamment, dans la suite du cycle de vie de  $\mathcal{M}_A\mathcal{M}\mathcal{A}\mathcal{S}$ , nous transformons ce modèle de simulation abstrait en un modèle de simulation orienté multi-agents (*cf.* figure 2).

### 3.2 Formalisme

Afin de pouvoir répondre nos objectifs, nous avons tenté de définir un formalisme englobant les concepts basiques de la simulation de systèmes de production, ainsi que des possibilités de distribuer tout ou partie des modèles. Nous utilisons les possibilités offertes par les métamodèles UML pour arriver nos fins (Muller, 1997). Ces derniers permettent une définition formelle et orientée objet d'un formalisme de modélisation (Booch et al., 1997). Ce formalisme est basé sur la représentation systémique d'un système industriel qui est décrite dans (Le Moigne, 1992).

#### 3.2.1 Principes d'Uml

UML est un langage de modélisation déposé auprès de l'Object Management Group (Booch et al., 1997). Il synthétise l'ensemble des connaissances en modélisation orientée objet (OMT, Uses cases, ...). L'aspect le plus connu d'UML est l'ensemble des formalismes prédéfinis dans ses spécifications. Nous y trouvons notamment les diagrammes de classes, les cas d'utilisation (ou "use cases"), ou encore les machines à états finis. UML est divisé en trois strates majeures :

- le *méta-méta-modèle* correspond à la définition des concepts nécessaires à la création de diagrammes

de classes (classe, héritage, ...),

- le *métamodèle* défini par l'intermédiaire d'un diagramme de classes un ou plusieurs formalismes (diagramme de classes, use cases, ...)
- le *modèle* est l'instanciation d'un métamodèle (use cases d'une application simulant un atelier de production, ...).

Grâce à cette notion de méta-modèle et à des mécanismes comme les stéréotypes, il est possible de définir facilement de nouveaux types de diagrammes. Dans la suite de cette partie, nous présentons un métamodèle nous permettant de mettre en œuvre les concepts utilisés durant la phase de Spécification de  $\mathcal{M}_A\mathcal{M}\mathcal{A}\mathcal{S}$ .

#### 3.2.2 Sous-système physique

Nous considérons que le sous-système physique est l'ensemble des infrastructures industrielles du système modélisé. Ces concepts de base sont issus de (Jullien, 1991) et de logiciels comme ARENA® (Kelton et al., 1998) ou SIMPLE++® :

**Filaire d'attente :** Les **files d'attente** permettent de modéliser le concept de queues dans lesquelles les entités peuvent attendre jusqu'à ce qu'elles puissent continuer leur trajet le long du flux d'entités.

**Serveur :** Afin de pouvoir représenter convenablement les flux physiques, nous introduisons la notion d'**unités de traitement**. Elle correspond aux éléments de modélisation bloquant le déplacement des entités durant une période de temps déterminée par une loi statistique *e.g.*, les machines.

**Ressource :** Nous introduisons les éléments de modélisation correspondants des ressources. Nous considérons les ressources non types (ouvriers, ...) et les ressources types. Parmi ces dernières, nous incluons les moyens de transport : station, route,

Le formalisme permettant de décrire le sous-système physique est construit de la manière identique. La figure 4 illustre une petite partie de celui-ci. Elle correspond à la définition des éléments de modélisation correspondants aux moyens de transport. Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, une route (ROUTE) permet d'atteindre une destination. Les éléments de type TRANSPORTELEMENT contenant une loi statistique représentant une durée, les routes prennent bien en compte l'aspect temporel du transport. Les deux autres types de transport (convoyeur et transporteur) sont semblables à la route mais prennent en compte les contraintes spatiales supplémentaires. Ses

contraintes sont modélisées l'aide d'un chemin composé de "points de passage" (TRANSPORTCHECKPOINT). Comme nous l'avons déjà mentionné, la différence entre un convoyeur et un transporteur réside dans la limitation du nombre des ressources de transport dans le second. D'un point de vue de la modélisation du système industriel, seuls les points de départ de ces ressources sont intéressants.

### 3.2.3 Sous-système décisionnel

Le sous-système décisionnel est l'ensemble des infrastructures organisationnelles du système industriel. Notre méta-modèle UML définit le formalisme de modélisation de ce sous-système. Il permet de représenter une structure relationnelle entre des entités organisationnelles ou **centre de prise de décisions**. Ces dernières peuvent prendre des décisions court (opérationnel), moyen (tactique) ou long (stratégique) terme. Les relations entre ces centres peuvent être d'ordre hiérarchique ou simplement relationnel. Cette vision est en partie issue de (Kabachi, 1999) mais aussi des travaux sur les structures organisationnelles dans les systèmes multi-agents réalisés par (Hannoun et al., 2000).

Chaque centre de décision est associé à un ensemble de **modèles comportementaux** protocolaires ou tactiques. Ces derniers sont utilisés en fonction des décisions prises ou des événements se produisant dans le système. Ils permettent aussi de définir les contraintes sémantiques devant être respectées par le modèle de simulation. Par exemple, si un centre de décision utilise le protocole d'appel d'offre et qu'il y joue le rôle de prestataire de service, il est nécessaire que le modèle de simulation contienne au moins un centre de décision jouant le rôle de donneur d'ordres.

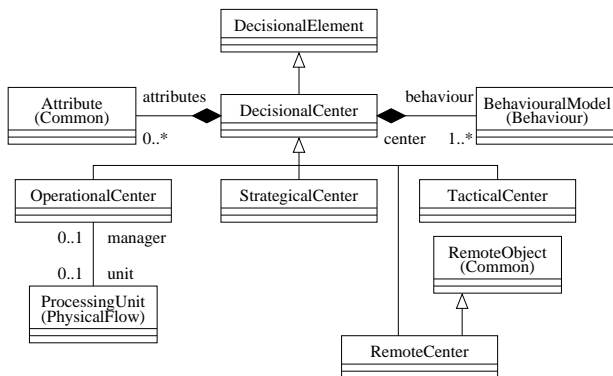


Figure 5. Partie du mta-modèle du sous-système décisionnel

La figure 5 illustre une partie du méta-modèle définissant le formalisme attaché au sous-système décisionnel. Elle représente la définition des différents types de centres de décisions : opérationnel (OPERATIONALCENTER),

tactique (TACTICALCENTER) et stratégique (STRATEGICALCENTER). Nous voyons aussi apparaître la notion de "centre distant" (REMOTECENTER) qui correspond à un centre de décision dont la définition exacte se trouve dans une autre partie du modèle de simulation distribué. Chaque centre peut être attaché à plusieurs modèles comportementaux (BEHAVIOURALMODEL). Ces derniers sont les descriptions des mécanismes de prise de décision. Par défaut, nous incluons dans notre méta-modèle deux types de modèles : les modèles *ractifs* permettent au centre de réagir *immédiatement* à une série de stimuli, et les modèles *protocolaires* correspondent à la définition de protocoles d'interactions avec d'autres centres *e.g.*, appel d'offres, ...

### 3.2.4 Sous-système informationnel

Le sous-système informationnel est la description de l'ensemble des informations nécessaires à la modélisation et la simulation d'un système industriel. Pour ce faire, nous incluons dans notre méta-modèle UML les modèles des **nomenclatures**, des **gammes** et la liste des **types de messages** pouvant être échangés par les sous-systèmes (décision, entité, ...). Nous incluons dans ce sous-système la définition de l'ensemble des catégories de messages décisionnels échangés par les centres de prise de décisions. La figure 6 illustre les éléments permettant de modéliser une gamme : unité de production, source de matières premières, ...

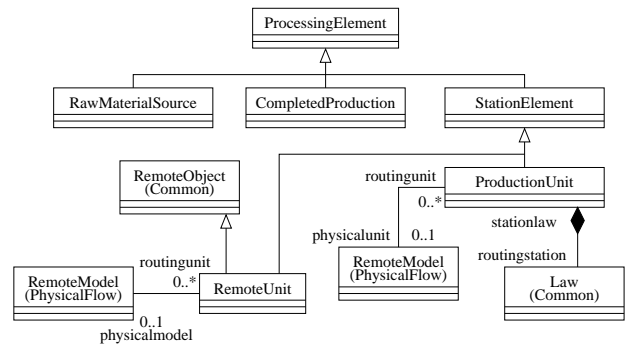


Figure 6. Partie du mta-modèle du sous-système informationnel

## 3.3 Vérification du modèle

La création d'un modèle de simulation impose de vérifier la cohérence de celui-ci. Le méta-modèle UML permet de réaliser cette vérification *i.e.*, le modèle de simulation produit par l'utilisateur ne doit pas être en conflit avec la définition des diagrammes des classes et avec les règles de construction exprimées dans notre méta-modèle. En effet, en plus des diagrammes de classes exprimant graphiquement les contraintes structurelles et sémantiques des modèles,

les spécifications UML permettent d'inclure des règles annexes de bonne construction permettant de décrire plus précisément les contraintes associées aux formalismes définis. Ces règles sont généralement exprimées à l'aide de langages formels comme l'Object Constraint Language (Booch et al., 1997) ou la logique du premier ordre.

Les spécifications d'UML ne décrivant pas explicitement les techniques implantatoires permettant de mettre en oeuvre la vérification des modèles, chaque outil utilise sa propre technique (Rational Rose, Argo/UML, Mygale, ...). Toutefois nous pouvons constater que tous ces outils obtiennent le même résultat : la validation d'un modèle vis-à-vis d'un métamodèle.

Le modèle validé par la vérification UML est du point de vue formel correct. Mais il persiste un problème concernant l'utilisation des éléments de modélisation distribués. En effet, la vérification UML de la cohérence n'est pas suffisante pour être certain que le modèle de simulation produit est correct. L'utilisation d'un métamodèle permet uniquement d'avoir une vérification locale du modèle. Les éléments de modélisation représentant des objets distants ne connaissent pas les valeurs réelles des attributs de ces derniers. Par exemple, lorsque nous utilisons une ressource humaine définie dans un modèle distant de simulation, il est impossible uniquement par le biais du métamodèle UML de savoir si ce type de ressource n'est utilisable qu'avec des machines-outils spécifiques.

La solution à ces problèmes est la définition d'un système multi-agent dont le but est de réaliser les contrôles de cohérences sur les différents objets distribués. Les agents s'échangent des règles de bonne utilisation et ainsi sont capables de réaliser les tests adéquats. Les concepts multi-agents sont adaptés à cette problématique de vérification. Cette dernière est dynamique : les propriétés des éléments de modélisation supervisés par les agents peuvent changer à tout moment ; elle est aussi ouverte : des éléments de modélisation peuvent être retirés ou ajoutés ; enfin elle est distribuée : les éléments de modélisation appartiennent à des modèles de simulation pouvant être distribués.

## 4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La simulation est reconnue comme un outil adapté à l'étude du comportement de systèmes industriels. Mais même si cette technique prend en compte les aspects dynamiques, elle ne permet que trop rarement les distributions opérationnelle, informationnelle et décisionnelle. D'autre part, les outils

modernes sont peu souvent accompagnés par des méthodologies adaptées. Partant de cette constatation, nous avons proposé dans (Galland et al., 1999) une approche méthodologique pour la simulation basée sur les concepts des systèmes multi-agents :  $\mathcal{MAMA-S}$ .

Dans cet article nous présentons les résultats de la première phase de développement de notre approche méthodologique. Nous pensons qu'une méthodologie intégrant les distributions physique, informationnelle et décisionnelle doit être elle-même distribuée *i.e.*, les différents sous-modèles nécessaires à l'élaboration d'un modèle de simulation pourront être développés en parallèle. Une fois exposé notre point de vue sur cette problématique et le cycle de vie d'un modèle de simulation (Galland et Grimaud, 2000a), nous présentons la première phase importante : la Spécification. Elle permet de créer un modèle abstrait de simulation *i.e.*, un modèle basé sur des composants généraux (machines, files d'attente, ...) et indépendants de tous outils de simulation. Nous basons notre approche sur les métamodèles UML qui permettent la définition de formalismes et leur vérification structurelle basique. Mais ces métamodèles ne permettant pas de prendre en compte directement les modèles distribués, pour ce faire nous avons introduit un système multi-agents permettant de compléter les vérifications structurelles et sémantiques réalisées par les mécanismes d'UML.

Dans l'avenir, nous nous proposons de définir les différents concepts utilisés et utilisables durant les phases de Conception (modèle orienté multi-agents) et d'Implantation (plateformes multi-agents). Nous vérifierons le bien-fondé de nos théories par des applications sur des cas industriels (Campagne et al., 2001) et pédagogiques (Galland et al., 2000b).

## RÉFÉRENCES

- Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J., et al., 1997. *Unified Modeling Language Specifications - version 1.1*. UML consortium - Object Management Group, Rapport Technique.
- Burkhart R., 1994. The Swarm Multi-Agent Simulation System. *Actes de OOPSLA Workshop on "The Object Engine"*.
- Burlat P., 1996. *Contribution à l'Évaluation Économique des Organisations Productives : vers une modélisation de l'entreprise-compétences*. Thèse de Doctorat, Université Lyon 2.
- Campagne J.-P., Grimaud F., et Hacid S., 2001. Production cyclique : Application et évaluation par simulation chez un équipementier automo-

- bile. *Actes de 3ème Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation*, Troyes, p.965-972.
- De Rosnay J., 1975. *Le microscope*, .
- Demazeau Y., 1995. From Interactions to Collective Behaviour in Agent-Based Systems. *Actes de European conference on cognitive science*, Saint-Malo, France.
- Durand D., 1975. La systèmique. *Actes de Que sais-je ?*
- Duval T., Morvan S., Reignier P., Harrouet F., et Tisseau J., 1997. ARéVi : Une Boîte à Outils 3D Pour Des Applications Coopératives. "*La coopération*", 9(2), p.239-250.
- Ferber J., 1995. *Les Systèmes Multi-Agents - Vers Une Intelligence Collective*, InterEditions.
- Filloque J.-M., 1992. *Synchronisation Répartie sur une Machine Parallèle à Couche Logique Reconfigurable*. Thèse de Doctorat, Institut de Formation Supérieure en informatique et Communication - Université de Rennes 1.
- Galland S., Grimaud F., Beaune P., et Campagne J.-P., 1999. Multi-Agent Methodological Approach for Distributed Simulation. *Actes de Simulation in Industry - 11th European Simulation Symposium*, Horton G., Möller D., et Rüdè U. (Eds.), Erlangen - Germany, p.104-108.
- Galland S. et Grimaud F., 2000a. Methodological approach for distributed simulation : Life cycle of  $\mathcal{M}_{A,MA-S}$  . *Actes de ASIM-workshop 20/21.3 2000 - Multiagentsystems and Individual-based simulation*, Klügl F., Puppe F., Schwarz P., et Szczerbicka H. (Eds.), Institut für Informatik, Würzburg, Germany, p.83-93.
- Galland S., Grimaud F., et Campagne J.-P., 2000b. Multi-agent architecture for distributed simulation : Teaching application for industrial management. *Actes de Simulation and Modelling : Enablers for a better quality of life - 14th European Simulation Multiconference*, Van Landeghem R. (Eds.), Ghent, Belgium, p.756-762.
- Grimaud F., 1996. *Conception D'une Base de Composants Logiciels Pour L'évaluation Des Performances Des Entreprises Manufacturières*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Hannoun M., Boissier O., Sichman J. S., et Sayetat C., 2000. MOISE : An organizational Model for Multi-agent Systems. *Actes de Advances in Artificial Intelligence*, Monard M. et Sichman J. (Eds.), Brazil, p.156-165.
- Jullien B., 1991. *Simulation des Systèmes de Production, tome 1*, École Nationale Supérieure des Mines.
- Kabachi N., 1999. *Modélisation et Apprentissage de la prise de décision dans les organisations productives*. Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet / ENSM.SE, Saint Etienne, France.
- Kellert P. et Ruch S., 1998. Méthodologie de Modélisation Orientée Objets de Systèmes de Production - Un Processus de Construction/Validation du Modèle Générique Orienté Objets d'un Système de Production. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 32(1), p.51-105.
- Kelton W., Sadowski R. P., et Sadowski D. A., 1998. *Simulation with Arena*, McGraw-Hill.
- Laizé E., 1998. *Proposition D'une Méthodologie de Modélisation Orientée Objets de Systèmes Manufacturiers de Pneumatiques : La Méthodologie ASCI<sub>SM</sub>*, , 4, p.93-146.
- Le Moigne J.-L., 1992. *La modélisation des systèmes complexes*, Editions Dunod.
- Leroudier J., 1980. La simulation à événements discrets. *Actes de Monographies d'informatique de l'AF CET*.
- Muller P.-A., 1997. *Modélisation objet avec UML*, Eyrolles.
- Nance R., 1981. *Model Representation in Discrete Event Simulation : The Conical Methodology*. Department of Computer Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, Rapport Technique CS-81003-R, Blackburg, USA.
- US Air Force, 1993. *Integrated Computer Aided Manufactured Definition Language (IDEF methods)*. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Computer Systems Laboratory, Rapport Technique, Gaithersburg, USA.
- US Department of Defense, 1996. *High Level Architecture Federation Development and Execution Process (FEDEP) Model, version 1.0*. Defense Modeling and simulation Office, Rapport Technique.