

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès  
UFR - Informatique et Nouvelles Technologies d'Information et de Communication



# Thèse

Présentée et soutenue publiquement le 18 Mars 2008  
pour l'obtention du :

## Doctorat National

Spécialité : Informatique  
Option : Génie Informatique

### Élaboration d'une Méthode de Modélisation et de Vérification Orientée Management par Processus pour les Systèmes Multi-Agents

Application au pilotage des systèmes d'information

Par

**Mohammed BERRADA**

#### Composition du Jury

Président :	M. Rachid BENSLIMANE, Professeur à l'EST, Fès
Directeurs de thèse :	M. Bouchaib BOUNABAT, Professeur à l'ENSIAS, Rabat M. Mostafa HARTI, Professeur à la FSDM, Fès
Rapporteurs :	M. Najib NAJA, Professeur à l'INPT, Rabat Mme Laila KJIRI, Professeur à l'ENSIAS, Rabat
Examineurs :	M. Mohammed MEKNASSI, Professeur à la FSDM, Fès M. Nouredine CHENFOUR, Professeur à la FSDM, Fès

## Sommaire

L'objectif de ce travail est d'élaborer une approche permettant la modélisation et la vérification des processus métiers au sein des systèmes organisationnels. Les responsables métiers peuvent décrire ces processus à l'aide de solutions technologiques basées essentiellement sur le concept BPM (Business Process Management). Pourtant, ils doivent utiliser d'autres outils pour la vérification des contraintes, notamment temporelles, associées à ces processus. Les systèmes multi-agents proposent à leur tour des modèles organisationnels inspirés principalement de l'organisation humaine, et certains modèles multi-agents, tels que le Système Multi-Agent Réactif Décisionnel (SMARD), permettent ainsi une vérification explicite de ces contraintes. Le développement des concepts de cette approche doit donc se baser sur le modèle SMARD tout en utilisant les normes de BPM.

Le premier chapitre présente un état d'art sur les systèmes multi-agents justifiant le choix de SMARD comme modèle organisationnel d'application. Le deuxième chapitre détaille le modèle formel du SMARD en spécifiant son comportement et son architecture interne. Le troisième chapitre développe le premier concept de modélisation en se basant sur les normes de BPM. L'objectif du quatrième chapitre est de présenter les fonctionnalités du Framework d'orchestration, développé dans ce travail, permettant la modélisation des processus métiers et la traduction de ces modèles métiers vers des processus exécutables. Le cinquième chapitre est consacré aux techniques qualitatives et quantitatives utilisées pour vérifier les modèles et les processus générés par ce Framework. Le dernier chapitre présente un exemple d'application pour illustrer les concepts de modélisation et de vérification développés dans ce mémoire.

Quatre annexes complètent le contenu de ce mémoire. L'annexe A présente les contraintes temporelles associées au SMARD. L'annexe B décrit la notion du service web nécessaire pour la définition des processus exécutables. L'annexe C comprend des preuves pour une vérification quantitative de contraintes temporelles. L'annexe D présente une définition du service web correspondant à l'exemple d'application.

**Mots clés :** BPM, Modélisation, Système multi-agent, Système organisationnel, Vérification.

## Table des matières

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Système organisationnel et Systèmes Multi-Agents .....</b>	<b>7</b>
1.1 Introduction .....	7
1.2 Problématique.....	7
1.3 Etat d'art sur les agents et les systèmes multi-agents .....	9
1.3.1 <i>Présentation des agents</i> .....	9
1.3.2 <i>Présentation des systèmes multi-agents</i> .....	12
1.3.3 <i>Les notions de l'approche Voyelles</i> .....	16
1.4 Etude comparative des SMA.....	24
1.4.1 <i>Modèle MOISE</i> .....	24
1.4.2 <i>Plateforme MAGIQUE</i> .....	26
1.4.3 <i>Modèle YAMAM</i> .....	27
1.4.4 <i>Modèle SMARD</i> .....	29
Conclusion.....	31
<b>Chapitre 2 : Système Multi-Agent Réactif Décisionnel.....</b>	<b>32</b>
2.1 Introduction .....	32
2.2 L'agent réactif décisionnel ARD .....	32
2.2.1 <i>Description du l'organe décisionnel</i> .....	32
2.2.2 <i>Description formelle d'un ARD</i> .....	35
2.1.3 <i>Structure interne de ARD</i> .....	37
2.3 Système Multi-Agent Réactif Décisionnel SMARD .....	37
2.3.1 <i>Description d'un ARDC</i> .....	37
2.3.2 <i>Description formelle d'un ARDC</i> .....	40
2.3.3 <i>Architecture générale d'un SMARD</i> .....	42
Conclusion.....	44
<b>Chapitre 3 : Vérification des SMARD par les outils de modélisation orientés processus.....</b>	<b>45</b>
3.1 Introduction .....	45
3.2 Business Process Management (BPM) .....	45
3.2.1 <i>Introduction</i> .....	45

3.2.2	<i>BPM et Workflow</i> .....	46
3.2.3	<i>BPM et EAI</i> .....	48
3.3	Initiative BPMP .....	48
3.3.1	<i>Description</i> .....	49
3.3.2	<i>Les normes de BPMP</i> .....	49
3.4	Utilisation de BPMN pour la modélisation des SMARD .....	51
3.4.1	<i>Présentation technique de BPMN</i> .....	51
3.4.2	<i>Comparaison entre BPMN et UML [Owen et al., 03]</i> .....	54
3.4.3	<i>Description du comportement externe de ARD par BPMN</i> .....	56
3.5	BPEL4WS et SMARD .....	58
3.5.1	<i>Description technique de BPEL4WS</i> .....	58
3.5.2	<i>Traduction du comportement d'un ARD sous BPEL4WS</i> .....	61
3.6	Description du comportement de SMARD .....	66
3.6.1	<i>Modélisation prototype du SMARD par BPMN</i> .....	67
3.6.2	<i>Traduction BPEL4WS du modèle métier de SMARD</i> .....	69
	Conclusion .....	73
<b>Chapitre 4</b>	<b>Présentation du Framework de modélisation « PAMS »</b> .....	<b>74</b>
4.1	Introduction .....	74
4.2	Description générale du processus ITPM .....	74
4.2.1	<i>Les phases de développement d'un projet informatique</i> .....	74
4.2.2	<i>Présentation des agents SMARD</i> .....	75
4.3	Management des ARD .....	77
4.4	Management des SMARD .....	78
4.5	Modélisation et simulation des SMARD .....	79
4.5.1	<i>Description du système SMARD</i> .....	80
4.5.2	<i>Modélisation BPMN des processus</i> .....	80
4.5.3	<i>Traduction des modèles BPEL4WS</i> .....	84
4.6	Présentation de solutions BPM .....	87
4.6.1	<i>Orchestration de services</i> .....	87
4.6.2	<i>Plateformes d'exécution côté serveur</i> .....	87
4.6.3	<i>Comparaison de PAMS avec ActiveBPEL Designer</i> .....	88
	Conclusion .....	90

<b>Chapitre 5 : Vérification orientée processus de SMARD .....</b>	<b>91</b>
5.1 Introduction .....	91
5.2 Présentation générale de vérification .....	91
5.2.1 Modèles de vérification .....	92
5.2.2 Vérification quantitative de SMARD.....	94
5.2.3 Vérification qualitative de SMARD.....	94
5.3 Approches de vérification des services web .....	95
5.3.1 Utilisation des systèmes de transitions.....	95
5.3.2 Utilisation d'une approche par contrat ou interface .....	98
5.3.3 Utilisation des ontologies.....	100
5.3.4 Utilisation des algèbres de processus .....	101
Conclusion.....	104
<b>Chapitre 6 : Application au pilotage des systèmes d'information .....</b>	<b>106</b>
6.1 Introduction .....	106
6.2 Pilotage du système d'information.....	106
6.3 Description du Processus « PSTI » .....	107
6.3.1 Planification stratégique.....	107
6.3.2 Présentation générale du PSTI .....	108
6.3.3 Spécification du processus PSTI.....	112
6.4 Modélisation du processus PSTI.....	115
6.4.1 Modélisation du système .....	116
6.4.2 Modèles métiers du PSTI.....	116
6.4.3 Description BPEL du processus PSTI.....	120
6.5 Vérification du processus PSTI.....	124
6.5.1 Vérification quantitative de PSTI.....	124
6.5.2 Vérification qualitative de PSTI.....	128
Conclusion.....	132
<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>133</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>135</b>