



19/2<sup>TI</sup>



# THÈSE de DOCTORAT en COTUTELLE

Présentée et soutenue pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR NATIONAL en INFORMATIQUE de  
L'UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDALLAH de Fès**

ET

**DOCTEUR en INFORMATIQUE de  
L'UNIVERSITÉ LUMIERE LYON II**

Par El Habib NFAOUI

## **Architecture d'Aide à la Décision Distribuée et de Simulation Proactive dans les Chaînes Logistiques : Une Approche Multi Agent**

Thèse dirigée par les professeurs : Omar EL BEQQALI / Abdelaziz BOURAS

Soutenue le 20 septembre 2008 devant le jury composé de :

D. ABOUTAJDINE	Professeur à l'Université Mohamed V de Rabat et membre de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc.	Président
M. BELLAFKIH	Professeur, Institut National des Postes et Télécommunications (INPT), Rabat, Maroc.	Rapporteur
B. GRABOT	Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes (ENIT), Tarbes, France.	Rapporteur
R. EL KOUCH	Professeur, Institut National des Postes et Télécommunications (INPT), Rabat, Maroc.	Examineur
M. MEKNASSI	Professeur, Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Fès, Maroc.	Examineur
O. EL BEQQALI	Professeur, Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Fès, Maroc.	Directeur de thèse
A. BOURAS	Professeur, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France.	Directeur de thèse
Y. OUZROUT	Maître de Conférences, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France.	Codirecteur de thèse

## Résumé

*Dans cette thèse, nous abordons le problème de la prise de décision collaborative dans l'environnement des chaînes logistiques. En particulier, lors de la présence des commandes incertaines, des commandes imprécises ou des exceptions (problème de production, problème de transport, erreur sur prévisions, retard de livraison, etc.). Le comportement global de la chaîne logistique résulte des comportements individuels des acteurs qui la composent et des interactions entre eux. Ces acteurs sont relativement autonomes et interagissent entre eux et avec leur environnement. En plus, chaque acteur de la chaîne logistique poursuit ses buts individuels tandis qu'il satisfait à ses contraintes locales et externes. Cette vision naturellement distribuée d'une chaîne logistique se prête bien à une démarche d'analyse orientée agents.*

*Après une étude bibliographique détaillée sur la chaîne logistique et les systèmes multi-agent, nous proposons un modèle quasi-générique qui convient à un grand nombre de chaînes logistiques ou groupements d'entreprises. Ce modèle est fondé sur les concepts d'agents et d'interactions. Quatre agents (App, Fab, Liv et AgentSCM) ont été identifiés pour modéliser chaque acteur. Chacun de ces agents, cherche à coopérer avec les autres pour augmenter le nombre de scénarios possibles devant une situation d'urgence. Ces agents sont aussi capables de s'adapter et d'apprendre de leur environnement, en particulier, ils collectent les stratégies chez les managers et les décideurs, cherchent les données nécessaires et précises pour construire une base de règles permettant de bien coordonner les décisions.*

*Nous avons présenté le contexte applicatif et validé l'architecture proposée par le biais de simulations basées sur des données réelles d'une chaîne logistique. Une autre simulation a concerné l'évaluation de l'importance du processus CPFR.*

*Mots clés : Systèmes Multi-Agent, Protocoles de Négociation, Gestion de la Chaîne Logistique, Incertitude des Informations, Simulation Proactive, Agent UML.*

## Abstract

*This thesis is related to distributed decision making and collaboration within a supply chain context. Mainly, we focus on unexpected swings in demand and on unexpected exceptions (problem of production, problem of transportation, etc.), which are important coordination and communication issues in supply chain management. Supply chain is a distributed environment. Therefore, we apply an agent-based distributed architecture in order to guarantee the autonomy and the strategic data confidentiality of all participants. Agent technology provides to the distributed environment a great promise of effective communication. An agent is a program that performs a specific task intelligently without any human supervision and can communicate with other agents cooperatively.*

*After a critical review on supply chain activities and their management and multi-agent systems, we propose a model based on agents and interactions. This model aims at modeling many supply chains structures. To represent the three main functions of the company (source, make and deliver) and consider the control processes in the supply chain and its environment, each actor is modeled by the fourth agents (App, Fab, Liv and AgentSCM). These collaborative agents communicate between them and negotiate using protocols. They collect strategies from managers; seek the accurate data and aim at building a rule-base for better coordination and better decision-making process.*

*The usefulness of the model and the distributed architecture has been validated on an industrial case study (distribution company). The aforementioned company operates in the sectors of toilets and showers (washbasin, baths, etc.), taps, tiling, plumbing and pieces of furniture. Also, a simulation concerns CPFR process is performed in order to evaluate its benefit.*

*Keywords: Multi-agent systems, Negotiation Protocols, Supply Chain Management, Demand uncertainty, Distributed and Proactive Simulation, Agent UML, Rush unexpected order.*

# TABLE DES MATIERES

<b>Introduction générale.....</b>	<b>17</b>
Contexte .....	17
Objectifs de la thèse .....	19
Plan de la thèse.....	20

---

## CHAPITRE 1

### Chaîne Logistique : Problématique de l'Aide à la Décision Distribuée et Utilisation des Systèmes Multi-Agent

---

1.1	Introduction .....	25
1.2	Chaîne logistique.....	25
1.3	Problèmes liés à la gestion des flux circulant dans la chaîne logistique .....	27
1.3.1	Flux d'informations.....	28
1.3.2	Flux physique .....	31
1.3.3	Flux financier .....	32
1.4	Gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management) .....	32
1.4.1	SCM et solutions informatiques associées .....	33
1.4.1.1	ERP et APS .....	33
1.4.1.2	SCE et EAI.....	36
1.4.2	Pratiques collaboratives.....	37
1.5	Les systèmes multi-agent dans la chaîne logistique.....	41
1.6	Conclusion.....	45

---

## CHAPITRE 2

### Systèmes Multi-Agent : une Approche pour les Architectures Distribuées de Simulation et d'Aide à la Décision

---

2.1	Introduction .....	49
2.2	Notion d'agent.....	49
2.3	Notion de système multi-agent.....	51
2.3.1	Définition .....	51
2.3.2	Interactions .....	52

2.3.3	Langages de communication entre agents.....	53
2.4	Axes de recherche dans le domaine des agents.....	54
2.5	Méthodologies de développement de SMA .....	55
2.6	Plates-formes de développement de SMA .....	59
2.7	Modélisation et simulation : approche multi-agent.....	62
2.7.1	Simulation Orientée Agent.....	62
2.7.2	Branches de la simulation orientée agent.....	63
2.8	Conclusion.....	64

---

## CHAPITRE 3

### Architecture Distribuée à base d'Agents pour la Simulation Proactive et l'Aide à la Décision dans la Chaîne Logistique

---

3.1	Introduction .....	67
3.2	Cas d'utilisation de l'architecture proposée.....	67
3.3	Approche méthodologique .....	68
3.4	Architecture du système .....	72
3.4.1	Identification des agents et leurs rôles .....	72
3.4.2	Structure statique du système.....	75
3.4.2.1	Agent « App » .....	76
3.4.2.2	Agent « Fab » .....	78
3.4.2.3	Agent « Liv ».....	79
3.4.2.4	Agent « AgentSCM » .....	80
3.5	Modèles pour l'aide à la décision.....	81
3.5.1	Processus décisionnels des agents.....	81
3.5.2	Protocoles de négociation.....	82
3.5.2.1	Diagramme de séquence.....	83
3.5.2.2	Négociation heuristique.....	84
3.5.2.3	Proposition d'une négociation heuristique ferme.....	85
3.5.2.4	Proposition d'une négociation heuristique récursive .....	86
3.5.2.5	Protocole de négociation CPFRR .....	87
3.6	Modélisation des comportements des agents .....	89
3.6.1	Introduction .....	89
3.6.2	Rappel sur les statecharts .....	90
3.6.3	Comportement des agents .....	91
3.6.3.1	Comportement de l'agent « Liv » .....	91
3.6.3.2	Comportement de l'agent « Fab ».....	94
3.6.3.3	Comportement de l'agent « App » .....	96
3.6.3.4	Comportement de l'agent « AgentSCM ».....	97
3.7	Conclusion.....	100

---

## CHAPITRE 4

### Implémentation

---

4.1	Introduction .....	103
4.2	Norme FIPA pour les systèmes multi-agent .....	103
4.3	Modèle d'agents JADE et notion de comportement .....	105
4.3.1	Modèle d'agents.....	105
4.3.2	Critères de choix.....	108
4.4	Des diagrammes d'états-transitions vers l'implémentation des agents : l'ingénierie vers l'aval .....	109
4.5	Architecture fonctionnelle de JADE et cycle de vie d'un agent .....	119
4.5.1	Architecture de la plate-forme JADE.....	119
4.5.2	Cycle de vie d'un agent.....	121
4.6	Conclusion.....	122

---

## CHAPITRE 5

### Validation

---

5.1	Introduction .....	125
5.2	Etude de cas industriel : Gestion des commandes urgentes non prévues.....	125
5.2.1	Contexte économique.....	125
5.2.2	Description de la chaîne logistique étudiée.....	126
5.2.3	Problématique industrielle.....	127
5.2.4	Formulation du problème et solution apportée .....	127
5.2.5	Mise en œuvre industrielle .....	135
5.2.5.1	Exemple d'une situation d'urgence.....	135
5.2.5.2	Solution adoptée par le distributeur .....	136
5.2.5.3	Solution fournie par notre système.....	136
5.3	Expérimentation : Simulation du processus CPFR .....	142
5.4	Conclusion.....	144
<b>Conclusion générale et perspectives .....</b>		<b>145</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>147</b>
<b>Annexes .....</b>		<b>163</b>