



Laboratoire d'Informatique
Fondamentale de Lille



50376 -
1999 -
155

Numéro d'ordre :

THÈSE

Nouveau Régime



Présentée à

L'UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR EN INFORMATIQUE

par

NOURREDINE BENSAID

Contribution à la réalisation d'un modèle d'architecture multi-agent hiérarchique.

Thèse soutenue le 11 Mai 1999, devant la Commission d'Examen composée de :

Président	: J-M. Geib	Professeur à l'université de Lille 1
Directeur de thèse	: P. Mathieu	Professeur à l'université de Lille 1
Rapporteurs	: J-P. Briot	Chargé de recherche à l'université de Paris 6
	: G. Goncalves	Professeur à l'université d'Artois
Examineurs	: J-P. Delahaye	Professeur à l'université de Lille 1
	: A. Derycke	Professeur à l'université de Lille 1

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE
U.F.R. d'I.E.E.A. Bât. M3. 59655 Villeneuve d'Ascq CEDEX
Tél. 03.20.43.47.24 Fax. 03.20.43.65.66

Document téléchargé depuis www.pnst.cerist.dz CERIST

Remerciements

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements pour **Jean-Marc Geib**, Professeur à l'université de Lille I, qui m'a fait un grand honneur d'avoir accepté de présider ce Jury.

Je remercie, particulièrement, **Philippe Mathieu**, Professeur à l'université de Lille I, de m'avoir accueilli au sein de son équipe et d'avoir dirigé cette thèse. Ses critiques constructives, ses conseils utiles et toutes les discussions fructueuses que nous avons eues, m'ont permis de mener à terme ce travail de recherche, et au delà, ont suscité en moi un grand intérêt pour la recherche. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude.

Jean-Pierre Briot, chargé de recherche au LIP6, a contribué par ses remarques objectives et utiles, ainsi que les échanges féconds que nous avons eus, à l'aboutissement de ce travail. Je suis à la fois flatté et honoré qu'il ait accepté d'être rapporteur de cette thèse.

Gilles Goncalves, Professeur à l'université de l'Artois, a également contribué par des discussions enrichissantes et objectives pour mener à terme cette thèse. Je suis flatté et honoré qu'il ait accepté de rapporter ce travail en un temps aussi court.

Jean-Paul Delahaye, Professeur à l'université de Lille I, a accepté de faire partie de mon Jury. Je tiens à le remercier vivement pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail en acceptant d'examiner cette thèse.

Je remercie également **Alain Derycke**, Professeur à l'université de Lille I, pour les quelques discussions enrichissantes et constructives que nous avons eues dans les séminaires et autres occasions.

Je remercie aussi tous les membres de l'équipe **SMAC** (Systèmes Multi-Agents et Coopération) pour leur encouragement et l'agréable ambiance qui a régné durant des années.

Sur un plan strictement personnel, mais non moins important, je remercie mes parents et tous les ami(e)s qui m'ont tant encouragé et soutenu, et qui ont donc contribué chacun à sa manière pour que ce travail puisse être un succès. Sans eux, cette thèse n'aurait jamais pu voir le jour, **je leur dédie ce manuscrit...**

Table des matières

Résumé	7
Introduction	7
Contribution	8
Plan de la thèse	9
Contexte du travail	10
1 Introduction: l'IAD et la résolution de problèmes	11
1.1 Mécanismes universels de résolution	11
1.1.1 GPS	12
1.1.2 SOAR	13
1.2 Genèse de l'IAD	14
1.3 Distribution de l'intelligence	15
1.3.1 La multiplicité des points de vue	15
1.3.2 Le raisonnement distribué	16
1.3.3 Problèmes physiquement distribués	16
1.4 L'IAD au carrefour de plusieurs disciplines	17
1.4.1 L'intelligence artificielle	17
1.4.2 Les systèmes distribués	17
1.4.3 La robotique et la simulation multi-agent	18
1.5 Architecture tableau noir	19
1.5.1 Le modèle du tableau noir	20
1.5.2 Contrôle des tableaux noirs	21
1.6 De l'IAD vers les systèmes multi-agents	23
1.7 Définition d'un agent	24
1.7.1 Agents cognitifs et agents réactifs	25
1.8 Définition d'un SMA	25
1.8.1 Agent ou Objet?	26
1.9 MAGIQUE: une architecture multi-agent hiérarchique	28
1.9.1 Le spécialiste	28
1.9.2 Le superviseur	28
1.9.3 Contrôle dans MAGIQUE	29
1.9.4 Coopération dans MAGIQUE	29
1.10 Implémentation	30
1.10.1 Apports de MAGIQUE	30
1.11 Simulation de l'exploration d'un territoire inconnu	31
1.12 Vers des applications de navigation sur Internet	31

1.13	Résumé	32
2	Architecture tableau noir	33
2.1	Le contrôle dans les tableaux noirs	33
2.2	Le tableau noir, les objets et les solutions	36
2.2.1	Le tableau noir	36
2.2.2	Les objets	36
2.2.3	les solutions	37
2.3	Les modules	38
2.3.1	Le choix des KSARs	38
2.3.2	Dimensions des connaissances	39
2.4	Manipulation des connaissances de contrôle	39
2.4.1	Localisation des régions d'attention	39
2.4.2	Planification	40
2.5	Représentation des connaissances de contrôle	40
2.5.1	Les objets et les solutions	41
2.5.2	Stratégies d'utilisation	43
2.6	Utilisation des connaissances de contrôle	44
2.7	Typologie des entités de contrôle	44
2.8	Critères d'évaluation	45
2.9	Conclusion	45
3	Architectures des SMAs	47
3.1	Architecture BDI	47
3.2	Un interpréteur pour des agents BDI	49
3.3	L'architecture IRMA	51
3.4	Programmation orienté agent	51
3.4.1	Limites de AGENT0	52
3.5	Les agents réactifs	53
3.5.1	Architectures de subsomption	53
3.5.2	Les modèles ECO	53
3.6	Les architectures hybrides	54
3.6.1	Planification et réactivité	55
3.6.2	L'architecture de Ferguson	55
3.7	L'architecture InteRRaP	56
3.7.1	Modèle conceptuel d'un agent	57
3.7.2	Aspects fonctionnels de l'agent	59
3.7.3	Architecture de contrôle	60
3.8	Résumé	60
4	MAGIQUE: une architecture multi-agent hiérarchique	63
4.1	Introduction et motivations	63
4.2	Présentation de MAGIQUE	65
4.2.1	Croyances	65
4.2.2	La base de règles de croyances	66
4.2.3	Base de règles de coopération	66
4.2.4	Les capacités	67

4.2.5	Cycle d'exécution d'un agent spécialiste	67
4.2.6	Les méta-capacités	69
4.2.7	Cycle d'exécution d'un superviseur	69
4.2.8	Coopération horizontale	69
4.2.9	Coopération verticale	71
4.2.10	Contrôle hiérarchique	72
4.3	MAGIQUE: une architecture multi-tableaux noirs	72
4.4	Les avantages du modèle	73
4.5	Autonomie ou semi-autonomie?	74
4.6	MAGIQUE: une structure organisationnelle	75
4.7	Comparaison	76
4.8	Discussion	79
4.9	Problèmes visés par MAGIQUE	80
4.9.1	Résolution de nouveaux types de problèmes	80
4.9.2	Les systèmes ouverts	81
4.9.3	Les systèmes complexes	81
4.9.4	Les systèmes omniprésents	82
4.10	Limites de MAGIQUE	83
4.11	Structure syntaxique des agents de MAGIQUE	83
4.11.1	Croyances et base de croyances	83
4.11.2	Base de règles de coopération	84
4.11.3	Capacités	85
4.11.4	Méta-capacités	85
4.11.5	Modélisation d'un agent	86
4.12	Conclusions et perspectives	87
5	Implémentation et exemples d'instanciation	89
5.1	Introduction	90
5.2	Le langage IC-Prolog	91
5.3	Noyau de la plate-forme	92
5.4	Gestion de l'héritage	95
5.5	Implémentation	96
5.6	Le noyau de MAGIQUE	97
5.7	Le système de communication	100
5.8	Utilisation de MAGIQUE	102
5.9	Application: un système d'inférence réparti	102
5.9.1	Exemple d'exécution	103
5.9.2	Un moteur d'inférence généralisé	104
5.10	Raisonnement distribué et logique floue	106
5.11	Limites	110
5.12	Conclusions	110
6	Exploration d'un territoire	113
6.1	Introduction	114
6.2	La robotique distribuée	114
6.3	Description de l'application	115
6.4	Protocole de coopération	116

6.4.1	Structure d'un spécialiste	118
6.4.2	Structure d'un superviseur	120
6.5	Environnement de programmation	122
6.5.1	L'environnement PM ²	122
6.5.2	Implémentation	122
6.6	Exemple de code	123
6.6.1	Création d'un spécialiste	123
6.6.2	Activation d'un agent	124
6.6.3	La capacité COOPERATE	125
6.6.4	La capacité LOADED_ROBOT	126
6.6.5	Exemple d'exécution:	127
6.7	Avantages du système	128
6.8	Efficacité	129
6.9	Simulation d'un environnement multi-robot	129
6.9.1	Structure d'un robot	131
6.9.2	Coopération entre superviseurs	132
6.10	Conclusions et perspectives	133
Conclusions et perspectives		135
	Contexte	135
	Propositions	135
	Perspectives	137
Travaux futurs		139
	Introduction	139
	Description de l'application	141
	L'agent interface	142
	L'agent planificateur	143
	L'agent navigateur	144
	Pourquoi utiliser MAGIQUE?	145
	L'agent superviseur	146
	Coopération entre les agents	146
	Réalisation	147
	Avantages	148
	Conclusion	148
A	Contrôleurs de tableau noir	151
A.1	Contrôle procédural	151
A.2	Le système HEARSAY-II	152
A.2.1	Connaissances de contrôle	152
A.2.2	Représentation des connaissances de contrôle	153
A.2.3	Conclusion	154
A.3	Le système CRYALIS	155
A.3.1	Connaissances de contrôle	155
A.3.2	Connaissances de contrôle	156
A.3.3	Conclusion	157
A.4	Le système BB-1	158

A.4.1	Les objets et les solutions	158
A.4.2	Modules	159
A.4.3	Connaissances de contrôle	159
A.4.4	Conclusion	160
A.5	Le système ATOME	160
A.5.1	Objets et solutions	160
A.5.2	Les modules	160
A.5.3	Connaissances de contrôle	161
A.5.4	Conclusion	163
B	Les SMAs: interaction, coopération et communication	165
B.1	Interaction dans un contexte multi-agent	165
B.1.1	Critères de classification	166
B.1.2	Typologie des situations d'interaction	168
B.2	Coopération dans un SMA	169
B.2.1	La coopération comme attitude intentionnelle	169
B.2.2	La coopération comme résultat d'une interaction	170
B.3	Les méthodes de coopération	170
B.3.1	Avantages	171
B.4	Communication	172
B.4.1	L'intention de communiquer	172
B.4.2	Les actes de langage	173
B.4.3	Actes locutoires, illocutoires et perlocutoires	174
B.4.4	Le langage KQML	174
B.5	Le langage APRIL	175
B.6	Conclusion	176