

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mentouri de Constantine
Faculté des sciences de l'Ingénieur
Département d'Informatique

N° d'ordre :

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de
Magister en Informatique

Option :

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET SYSTEMES D'INFORMATION DISTRIBUES

THEME :

**AGENTS AUTONOMES POUR CONSTRUIRE DES SYSTEMES
ADAPTATIFS**

Présenté par :

ZOUACHE Djaafar

Dirigé par:

Pr. ZAIDI Sahnoun

Soutenu le 26 /12 / 2008 devant le jury composé de :

Présidente :

Mme. BOUFAIDA Zizette

Professeur à l'université Mentouri de Constantine

Rapporteur :

M. BOUFAIDA Mahmoud

Professeur à l'université Mentouri de Constantine

Examineurs :

Mme. BELALA Faiza

Maitre de conférence à l'université Mentouri de Constantine

M. MAAMRI Ramadan

Maitre de conférence à l'université Mentouri de Constantine

العملاء المستقلون لتصميم الأنظمة المتكيفة

ملخص:

في محيط متغير و مفتوح ، يجب على النظام أن يواجه مختلف التغيرات الناجمة عن المحيط الخارجي ومن عناصره الداخلية، ولهذا تعد وسيلة " إعادة تنظيم العملاء المستقلين" التي تعني التغير المستقل، أصبحت وسيلة ناجعة للتحكم و القضاء على مختلف الاضطرابات الفجائية الناتجة من المحيط وتمكين النظام من الوصول إلى هدفه بطريقة مرنة. في عملنا هذا سنعرض المفاهيم الأساسية المتعلقة بمنظمة و إعادة تنظيم العملاء و كذلك اقتراح نموذج لإعادة تنظيم العملاء المستقلون يعتمد على مفهوم الفائدة، ويركز على النقاط التالية: التنقيح عن الحاجيات الضرورية لبعث إعادة التنظيم، إصدار قرار إعادة التنظيم موزع على مختلف العملاء، تطبيق إعادة تنظيم العملاء.

كلمات المفتاح: التكيف, العميل المستقل, نموذج عام, فائدة, منظمة, إعادة التنظيم.

Agents autonomes pour construire des systèmes adaptatifs

Résumé :

Dans un environnement ouvert et dynamique, un système doit faire face à de divers changements de l'environnement externe et des éléments internes du système. La réorganisation d'agents autonomes, qui correspond à un changement décidé d'une manière autonome, devient un moyen pour surmonter les perturbations éventuelles de l'environnement et permettre au système d'atteindre son objectif d'une manière souple. Dans notre travail on a présenté les concepts liés à l'organisation et la réorganisation des SMAs ainsi qu'une proposition d'un modèle de réorganisation d'agents autonomes, basé sur l'utilité, qui traite les points suivants : détection un besoin de réorganisation, décision de réorganisation répartie sur les agents et mettre en œuvre de réorganisation.

Mots clés : *Adaptation, Agent autonome, Modèle générique, Utilité, Organisation, Réorganisation.*

Autonomous agents to build adaptive systems

Abstract:

In an open and dynamic environment, a system has to face different changes of the external environment and the internal elements of the system. The reorganization of autonomous agents, which corresponds to a change decided in an autonomous way, becomes a means to surmount the possible perturbations of the environment and allow the system to reach its objective in a supple way. In our work we presented the concepts linked to the organization and reorganization of the MAS as well as a proposition of a reorganization model to autonomous agents, based on the utility, which treats the following points: detection a need of reorganization, decision of reorganization distributed on the agents and to implement the reorganization.

Key words: *Adaptation, Autonomous agents, Generic model, Utility, Organization, Reorganization.*

Table des matières

1. Chapitre1 :Introduction générale

1.1. Contexte de travail.....	1
1.2. Problématique.....	2
1.2.1. Solutions inadaptées.....	3
1.2.1.1. Méthodologies orientées objet.....	3
1.2.1.2. Approches basées sur la planification.....	4
1.2.1.3. Méthodologies basées sur l'organisation d'agents.....	4
1.2.2. Solutions adaptées.....	5
1.2.2.1. Adaptation comportementale basé sur l'apprentissage.....	5
1.2.2.2. Auto-organisation / Réorganisation d'agents.....	6
1.3. Notre contribution.....	6
1.4. Organisation de ce mémoire.....	7

2. Chapitre2 : Organisation de société d'agents

2.1. Introduction	8
2.2. L'organisation.....	9
2.2.1. Définitions	9
2.2.2. Structure organisationnelle et organisation concrète.....	10
2.2.3. Relations organisationnelles.....	11
2.2.4. Organisation et modèle d'organisation.....	13
2.3. Modèles d'organisation.....	13
2.3.1. AALAADIN.....	13
2.3.1.1. Les concepts clés.....	14
2.3.1.2. Représentation.....	15
2.3.1.3. La réalisation.....	15
2.3.1.4. Apports et limites du modèle.....	15

Table de matière

2.3.2. MOISE+	16
2.3.2.1. La spécification structurelle	16
2.3.2.2. La spécification fonctionnelle	17
2.3.2.3. La spécification déontique	17
2.3.2.4. Apports et limites du modèle	17
2.3.3. MOISE ^{Inst}	18
2.3.3.1. Spécification structurelle	18
2.3.3.2. Spécification fonctionnelle	18
2.3.3.3. Spécification contextuelle	18
2.3.3.4. Spécification normative	19
2.3.4. AGRE	19
2.3.5. MASCARET	20
2.3.6. OMNI	21
2.3.7. Cassiopée	23
2.3.8. GAIA	24
2.3.9. MASA-Method	27
2.4. Bilan	28
2.5. Conclusion	30

3. Chapitre3 : Réorganisation des systèmes multi-agents

3.1. Introduction	31
3.2. Quelques définitions	31
3.3. Connaissances de la réorganisation	33
3.4. Point de départ et niveaux de décision de réorganisation	34
3.5. Mécanisme de réorganisation	35
3.6. Quelques Travaux de réorganisation	36
3.6.1. Auto-organisation par coopération	36
3.6.1.1. Théorème de l'adéquation fonctionnelle	36
3.6.1.2. Les composantes d'un agent AMAS	37
3.6.1.3. Les Situations Non Coopératives (SNC)	38
3.6.1.4. Adapter le système par ses parties	39
3.6.2. Modification des liens préférentiels	40
3.6.3. Répartition de la connaissance	42

Table de matière

3.6.4. Réorganisation physique : le modèle proposé par François Bourdon.....	44
3.7. Classification des modèles de réorganisation	48
3.8. Bilan	48
3.9. Conclusion	50
4. Chapitre4 : Proposition d'un modèle de réorganisation d'agents autonomes basé sur l'utilité	
4.1. Introduction.....	51
4.2. Concepts de bases	52
4.2.1. Agent.....	52
4.2.2. Rôle.....	52
4.2.3. Tâche.....	53
4.2.4. Compétences.....	53
4.2.5. Utilité.....	54
4.2.6. Seuil de la réorganisation	55
4.2.7. Table d'attribution Rôle-Agent.....	55
4.2.8. Table d'accointance.....	56
4.3. Architecture interne de l'agent autonome.....	57
4.3.1. Module de réorganisation.....	58
4.3.1.1. Procédure de changement d'attribution d'un rôle entre deux agents.....	58
4.3.1.2. Procédure d'abandon d'un agent.....	60
4.3.1.3. Procédure d'entrer d'un agent.....	62
4.3.2. Module d'évaluation et décision.....	62
4.3.2.1. Le composant de décision.....	62
4.3.2.2. Le composant d'évaluation.....	63
4.3.3. Module de communication.....	65
4.3.4. Module de l'exécution de rôles.....	65
4.3.5. Relations entre les modules.....	66
4.4. Propriétés de notre modèle.....	67
4.5. Conclusion.....	68
Conclusion et perspectives	69
Bibliographie	72

Table des figures

Figure 2.1 Organisations et structures organisationnelles.....	11
Figure 2.2 modèle Agent-groupe-rôle.....	14
Figure 2.3 L'extension d'AGR avec environnement proposée par Parunak et Odell	19
Figure 2.4 Le modèle générique de MASCARET	20
Figure 2.5 Le modèle complet de l'environnement social de MASCARET	21
Figure 2.6 Les cinq calques de Cassiopée [DRO, 2000].....	24
Figure 2.7 Le processus de développement de Gaia et les modèles manipulés.....	27
Figure 2.8 Définition d'une organisation [LAH, 2005].....	28
Figure 3.1 Les systèmes à milieu intérieur coopératif sont des systèmes fonctionnellement adéquats.....	37
Figure 3.2 Composantes d'un agent.....	38
Figure 3.3 Adaptation par auto-organisation d'un système en interaction dynamique.....	40
Figure 3.4 les accointances d'un agent.....	41
Figure 3.5 plans services et courtiers.....	42
Figure 3.6 séquence de décomposition composition d'agents.....	43
Figure 3.7 Les trois points de vue [MAL, 1999].....	45
Figure 3.8 Le modèle client / serveur [MAL, 1999].....	47
Figure 4.1 Modèle d'agent générique [GUT, 2001].....	52
Figure 4.2 Le principe du rôle.....	53
Figure 4.3 Modélisation UML des notions d'agent, de tâche, de rôle et de compétence.....	54
Figure 4.4 Une organisation pour le Contract Net.....	57
Figure 4.5 Architecture de l'agent autonome.....	57
Figure 4.6 Demande de changement d'attribution directe avec les agents voisins	59
Figure 4.7 Demande des agents voisins de chercher des autres agents assumant le rôle désiré.....	59
Figure 4.8 la position du modèle proposé sur l'espace de réorganisation proposé dans [SIA, 2005].....	67

Table des tableaux

Tableau 2.1 Ensemble des relations organisationnelles.....	12
Tableau 2.2 Synthèse de la comparaison des différentes méthodes	29
Tableau 3.1 situation des connaissances de l'organisation et réorganisation [SIA, 2005].....	33
Tableau 4.1 Table d'attribution Rôle-Agent.....	56
Tableau 4.2 Table d'accointances de l'agent a.....	57
Tableau 4.3 Table de décision d'un agent.	62

Introduction générale

1.1. Contexte de travail

L'informatique connaît actuellement une progression croissante tant au niveau hardware qu'au niveau software. La puissance croissante des ordinateurs a permis de concevoir des applications de plus en plus complexes. Ces applications doivent avoir certaines caractéristiques tels qu'autonomie, évolutivité, l'adaptabilité, etc. pour prendre en compte les aspects d'un environnement ouvert et complexe sur lequel sont évoluées ces applications.

Pour concevoir telles applications, des approches de planifications permettant de représenter et de raisonner sur le temps, l'espace et la dynamique d'un monde évolutif ont été développées. Mais, elles ne sont pas adaptées aux situations suivantes [GLE, 2004] :

- L'environnement du système est dynamique, rendant inopérante l'énumération exhaustive des situations que le système rencontrera.
- Le système est ouvert et donc dynamique car il est constitué d'un nombre variable de composants.
- La tâche à réaliser par le système est tellement complexe qu'une conception parfaite ne peut être garantie par les concepteurs.
- La manière de réaliser la tâche assignée au système est difficile, voire impossible, à appréhender dans sa globalité par le concepteur, l'on peut aussi considérer que de telles spécifications sont inutiles, voire impossibles.

Ces limites ont lieu surtout dans les domaines d'application où le besoin à l'adaptation primordial :

- Dans un système d'information distribué (par exemple le Peer to Peer), la recherche de l'information peut nécessiter un nombre élevé de messages pour la localiser. Le processus de recherche doit s'adapter de façon autonome et dynamique aux imprévus (panne de serveur, mise à jour), à la dynamique des informations disponibles, à l'état des ressources matérielles et aux besoins de l'utilisateur.
- Le monde des entreprises s'accélère. Elles ne peuvent plus figer leurs décisions, elles doivent fonctionner de plus en plus vite. Aussi, adapter leurs processus critiques aux conditions réelles de fonctionnement, où lorsque des aléas (panne, retard, grève,...)

- viennent perturber une chaîne logistique, il doit être intégré et analysé afin de déclencher en temps réel des opérations correctrices adaptées afin de ne dégrader les performances de la chaîne logistique.
- Les IHM (**I**nterface **H**omme-**M**achine) la relation Homme-Machine en besoin de l'adaptation pour prendre en compte d'une part les préférences de l'utilisateur et les caractéristiques du système [ROH, 2005].
- Les hypermédias traditionnels présentent les mêmes pages et les mêmes hyperliens à tous les utilisateurs. Or, ceux-ci peuvent différer les uns des autres par leurs objectifs, leurs acquis, leurs antécédents et leurs connaissances par rapport au sujet traité par l'hypermédia. Par conséquent, ils ne seront pas intéressés par les mêmes informations de la page et ne suivront pas les mêmes liens lors de leur navigation. Les informations et liens non pertinents pour un utilisateur mais présentés à l'écran n'entraînent qu'une surcharge cognitive de celui-ci [VIL, 2002]. Pour cela, dans la conception des hypermédias on a besoin de l'adaptation pour réduire la désorientation de l'utilisateur et le risque d'incompréhension du document qui en résulte le plus souvent.

1.2. Problématique

A partir des exemples de domaines d'applications mentionnées au-dessus, qui sont caractérisés par l'hétérogénéité, l'ouverture et la dynamique de ses environnements, on doit faire faces à un grand défi de conception et la réalisation de ces systèmes. Dans ce contexte, on doit ainsi répondre à la question principale suivante :

Comment concevoir et réaliser un système ayant une capacité d'adaptation avec son environnement dynamique et l'ouverture du système lui-même ?

1.2.1. Solutions inadaptées

Dans cette section, nous citons les solutions existant dans la littérature qui sont inadaptées pour résoudre le problème de l'adaptation :

1.2.1.1. Méthodologies orientées objet

Les méthodologies de conception orientées objet [BOO, 1992] puis celles orientées agent dans le cadre de la mise en œuvre d'applications dynamiques, complexes et évolutives. Les agents et les objets se différencient essentiellement au niveau du comportement et des interactions, ces différences conceptuelles orientent fortement les travaux sur les méthodologies de conception.

Par définition, un agent est autonome dans le sens où il est capable de décider seul de l'action à réaliser en fonction de ses perceptions et de ses connaissances (croyances, compétences...)

Cette autonomie lui permet de prendre en compte des événements imprévus [MUL, 1998]. Contrairement à un agent, un objet ne réagit qu'à un appel de méthode et toutes les situations

auxquelles il va être confronté doivent être prises en compte par le concepteur. De plus, les agents ont une composante sociale très importante qui influence leur comportement, chose que ne possèdent pas les objets.

En programmation objet, la communication consiste uniquement à invoquer une méthode. Dans les systèmes multi-agents, l'interaction entre les agents est beaucoup plus riche (avec une typologie de messages et une ontologie) et complexe à mettre en œuvre (fondée sur des protocoles). Les interactions entre les objets sont définies de manière rigide. Elles ne peuvent pas évoluer dans le temps, ce qui est indispensable dans les applications multi-agents. En effet, à la conception d'un système adaptatif, l'organisation entre les agents est incomplètement définie et se met en place au cours du fonctionnement du système. Les relations (telles que : est-un et est-composé-de) sont insuffisantes pour modéliser les relations organisationnelles d'un système complexe [JEN, 2000].

En conclusion, les méthodologies basées sur l'objet ne sont pas suffisantes pour concevoir des systèmes adaptatifs car elles ne prennent pas en compte les caractéristiques d'autonomie et de socialité de l'agent ainsi que les caractéristiques de complexité des interactions et de dynamique du système. C'est pourquoi, actuellement, de nombreux travaux de recherche portent sur les méthodologies de conception orientées multi-agents [WOL, 2001], [TVE, 2001], [IGL, 1999].

1.2.1.2. Approches basées sur la planification

Les solutions de planifications existantes répondent assez difficilement à ces besoins du système car elles sont trop figées et trop structurantes puisque il faut prévoir, coder et tester toutes les situations et les exceptions à gérer [HOR, 1999]. Et comme les processus sont de plus en plus complexes, utiliser ces méthodes s'avère difficile, long et peu évolutif. Ces approches de planifications sont difficilement compatibles avec des métiers en évolution constante.

1.2.1.3. Méthodologies basées sur l'organisation d'agents

La plupart de ces méthodologies se basent sur deux notions pour décrire ces systèmes : les rôles que l'agent peut adopter (ce qui peut mener, dans certains cas, à une bijection entre l'agent et le rôle) et les groupes (ou organisations) dans lesquels il joue ces rôles. C'est le cas, par exemple, dans Aalaadin [GUT, 1999], qui permet néanmoins à un agent d'appartenir à plusieurs groupes et donc de pouvoir adopter plusieurs rôles au sein de ces différents groupes. Une approche similaire peut être observée dans la méthodologie MESSAGE [COU, 1999] qui propose une décomposition du système pendant la phase d'analyse en cinq modèles dont les modèles d'agents, de buts/tâches et d'organisation.

Les méthodologies ayant choisi d'étendre la notation UML [ODE, 2001], [BER, 2000], [YIM, 2000] privilégient la modélisation des interactions entre agents afin, par exemple, de décrire des protocoles d'interaction. Elles laissent aussi la possibilité d'attribuer différents rôles à un agent contrairement à des méthodologies comme Gaia [WOL, 2000] qui ne modélisent que des relations statiques. Ce pourrait être un moyen de représenter l'adaptation si le changement de rôle pouvait être dynamique mais rien ne le laisse supposer.

De manière générale, les méthodologies d'organisations d'agents présentées dans la littérature, ne sont pas adaptées à la conception de systèmes complexes adaptatifs car la plupart des méthodologies de conception de SMA partent des agents et d'une description de leur organisation. Pour les applications dont les caractéristiques ont été données précédemment, le concepteur n'a pas la connaissance de l'organisation finale qui permet d'aboutir à la réalisation de la bonne fonction ou activité. Il existe un second problème commun aux méthodologies actuelles qui dépend du point précédent : le fait que le système soit décomposé en organisations et en rôles pour l'agent oblige le concepteur à avoir une idée précise sur l'identification de ses agents [CAR, 2001]. Ces méthodologies n'expliquent pas comment décomposer un système afin d'identifier des agents, mais à quoi le système devra ressembler une fois que les différentes structures seront mises en place.

Le fait que dans certaines applications, le concepteur ne puisse pas donner de rôles aux agents (par ignorance ou par trop grande complexité) rend ces méthodologies inadaptées à ce genre de systèmes.

1.2.2. Solutions adaptées

1.2.2.1. Adaptation comportementale basée sur l'apprentissage

La nature complexe et dynamique des systèmes qui nécessite de l'adaptation, nous oriente vers un type particulier d'agents : les agents adaptatifs. Ces agents reposent sur l'utilisation de l'apprentissage. Ils peuvent engendrer de nouveaux produits et services, de nouveaux processus de production [REJ, 2005].

Maes [MAE, 1994] considère que l'agent doit s'adapter aux variations de son environnement, un agent possède un jeu d'actions possibles, des capteurs qui le renseignent sur son environnement et ses objectifs variés. L'agent voudrait intégrer les retombées de ses actions afin d'améliorer ses choix d'actions. Un tel agent, qui devrait apprendre au cours de toutes ses expériences, passe par deux phases : une phase d'apprentissage, et une phase de pratique. L'apprentissage doit être axé sur les objectifs et sur les actions complexes. Il doit être autonome (le minimum possible de supervision). De plus, le modèle d'apprentissage doit permettre la gestion des erreurs telle que l'imprécision. D'après [GUE, 2003], L'adaptation peut être :

- Structurelle : il s'agit d'adapter la structure de l'agent à l'évolution de son environnement. La réorganisation de la liste des accointances d'un agent à l'arrivée de nouveaux agents dans le système est un exemple de cette adaptation,
- comportementale : il s'agit d'adapter le processus de décision de l'agent à l'évolution de son environnement. Adapter par exemple, le choix des actions à la situation du marché tel est le cas des firmes,

Selon [PHA, 2004], l'adaptation comportementale peut être statique ou dynamique. L'adaptation est statique quand on dote les agents de règles de comportements obtenues par la simulation de l'évolution de l'environnement et des réactions de l'agent à cet environnement. Ces règles sont figées et nécessitent la prévision des changements possibles de l'environnement au moment de la conception de l'agent. L'adaptation est, par contre, dynamique quand les règles de comportement sont construites dynamiquement au fur et à mesure que l'environnement change. [PHA, 2004] considèrent l'adaptation dynamique comme étant la capacité de l'agent à s'adapter aux changements imprévus de son environnement par son évolution continue sans l'interruption de son exécution. Ce type d'adaptation nécessite des capacités d'apprentissage.

Parmi les travaux basés sur l'adaptation comportementale au niveau de l'agent, on mentionné le travail de Lila Rejab [REJ, 2005] de modéliser la firme adaptative qui s'adapte à l'évolution de son marché et mobilise ses ressources pour être en cohérence avec ce marché. C'est une adaptation comportementale basé sur l'apprentissage par renforcement « le système de classeurs XCS » qui adapte le processus de prise de décision de l'agent avec son environnement.

1.2.2.2. Auto-organisation / Réorganisation d'agents

La réorganisation est un des moyens pour qu'un SMA pour parvenir à surmonter les perturbations éventuelles de l'environnement et pour réaliser des systèmes adaptatifs., elle consiste [BAC, 2003] à passer d'une organisation à une autre dans le cas où l'organisation s'avère n'est pas la plus appropriée le système procède à une réorganisation et passe à une nouvelle organisation plus adéquate qui améliorera la situation, ce passage est réalisé par le SMA d'une manière autonome sans intervention externe (auto-organisation).

1.3. Notre contribution

Dans notre travail, nous choisissons le mécanisme de réorganisation d'agents autonomes comme moyen pour concevoir un système adaptatif. Notre objectif est de proposer un nouveau modèle de réorganisation qui peut répondre aux questions suivantes :

- *Quand la réorganisation est nécessaire ou quelles sont les critères de réorganisations ?*
- *Qui décide la réorganisation, un acteur externe ou bien les agents eux-mêmes ?*
- *Comment réorganiser ou quelles sont les mécanismes de réorganisation ?*
- *Où se situe la connaissance et le savoir-faire de réorganisation, aux niveaux des connaissances des agents ou sur des entités indépendantes manipulables par les agents ?*

1.4. Organisation de ce mémoire

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres principaux :

- Dans le chapitre 2, « Organisation de société d'agents » nous présentons les approches organisationnelles des SMA existant dans la littérature. Nous tenterons de relever, pour chacune d'entre elles, ses forces et ses faiblesses. Enfin, à partir de ces présentations et d'une comparaison entre des approches organisationnelles existantes, nous dresserons les besoins d'un autre moyen pour la conception et la réalisation d'un système adaptatif.
- Dans le chapitre 3, « Réorganisation des Systèmes multi-agents », nous nous intéressons à la problématique de réorganisation dans les systèmes multi-agents comme un moyen d'adaptation, c.-à-d. les agents ne se réorganisent pas pour l'obtention d'un résultat particulier mais pour s'adapter uniquement aux perturbations extérieures. Nous présenterons quelques mécanismes de réorganisation qui peuvent être mis en œuvre pour doter un système multi-agent de capacités d'adaptation.
- Dans le chapitre 4, « Proposition d'un modèle de réorganisation d'agents autonomes basé sur l'utilité », nous présenterons les concepts de base introduit dans ce modèle : l'utilité, le seuil de réorganisation, la table d'attribution Rôle-Agent et la table d'acointances. Nous discuterons sur l'architecture de l'agent autonome pour la réorganisation : les stratégies de réorganisation, l'évaluation et de décision de réorganisation et ainsi nous parlons sur les propriétés de notre modèle selon les axes de réorganisation.

La conclusion mettra en avant les perspectives d'évolution du modèle proposé.

Organisation de société d'agents

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions les organisations dans les systèmes multi-agents. Dans ce cadre, la notion d'organisation limite l'autonomie d'action des agents. Elle agit comme une contrainte extérieure à l'agent qui indique avec qui interagir, dans quel contexte et selon quel mode. De ce fait, lorsqu'un agent est amené à interagir, l'organisation lui indique généralement avec quel autre agent il doit le faire, lui évitant ainsi de chercher et décider comme il le ferait s'il utilisait, par exemple, un protocole tel que celui du Contract Net [SMI, 1980] [FOI, 2002].

De ce fait, une structure d'organisation restreint le nombre de conflits, augmente l'efficacité globale de la société au détriment de l'autonomie des agents. La structure décrit alors des relations stables entre les agents et indique de manière préférentielle avec qui elles se déroulent. C'est pourquoi réduire la notion d'organisation à celle d'une structure dans laquelle l'activité des agents prend place est limitatif, même si cette approche permet de résoudre de manière satisfaisante certains aspects du problème de cohérence globale [FOI, 2002].

Il faut également considérer l'organisation comme le processus qui permet d'aboutir à cette structure, et comme les différentes actions et interactions qui conduisent à la constitution de celle-ci. L'organisation se décline donc selon deux aspects, un aspect statique associé à la structure organisationnelle et un aspect dynamique lié au processus qui y aboutit [MAR, 1996], [FER, 1995].

Ce chapitre a pour but de montrer un état courant des approches organisationnelles des SMA existant dans la littérature. Nous tenterons de relever, pour chacune d'entre elles, ses forces et ses faiblesses. Enfin, à partir de ces présentations et d'une comparaison entre des approches organisationnelles existantes, nous dresserons les besoins d'un autre moyen pour la conception et la réalisation d'un système adaptatif.

2.2. L'organisation

2.2.1. Définitions

L'organisation en Sociologie

Dans le domaine de la Sociologie, selon [SCH, 1991], les organisations doivent être vues comme des coalitions dynamiques d'intérêts divergents et souvent conflictuels que comme des systèmes de collaboration parfaite.

Selon Morin [MOR, 1977], l'organisation peut être définie comme un agencement de relations entre composants ou individus qui produisent une unité, ou système, dotée de qualités inconnues au niveau des composants ou individus. L'organisation lie de façon interrelationnelle des éléments ou événements ou individus divers qui dès lors deviennent les composants d'un tout. Elle assure solidarité et solidité relative, donc assure au système une certaine possibilité de durée en dépit de perturbations aléatoires”.

Définition en Sciences de Gestion

En Sciences Cognitives, on distingue l'organisation du travail et l'organisation sociale. L'organisation du travail s'appuie sur l'allocation d'une tâche particulière. Cette allocation se développe pour chaque situation, et guidée par les compétences des acteurs (ou agent) et la “technologie du domaine de travail”. Elle détermine ainsi que le contenu de la communication inter-agents.

En revanche, l'organisation sociale s'appuie sur l'interaction sociale entre les agents. Elle dépend de la forme de la communication, qui à son tour dépend de la stratégie de la coordination adoptée [RAS, 1991] [MAR, 1996].

Organisation dans les SMA

Dans le domaine des systèmes multi-agents, plusieurs définitions ont également été données. Nous donnons ici, à titre d'exemple, les définitions suivantes :

- L'organisation définit comme étant une structure décrivant les interactions et autres relations qui existent (dans le but d'assouvir un objectif commun) entre les membres de la dite organisation [FOX, 1981][MAR, 1996].
- Jacques Ferber [FER, 1995] les organisations constituent à la fois le support et la manière dont se passent les inter-relations entre les agents, c'est-à-dire dont sont réparties les tâches, les informations, les ressources et la coordination d'actions. Il précise que ce qui rend l'organisation si difficile à cerner est qu'elle est à la fois le processus d'élaboration d'une structure et le résultat de ce processus. Cette citation met

en avant la dualité du terme organisation : en effet, il y a l'aspect statique et l'aspect dynamique.

- Dans le sens commun du terme, l'organisation est à la fois la façon, la manière dont un ensemble est constitué en vue de son fonctionnement et le fait, l'action d'organiser. Dans le premier sens on se réfère à un ordre, un régime, une structure ; dans le second sens, l'idée sous-jacente est celle d'un processus, d'une dynamique. Il y a deux aspects dans ce seul terme : l'action et le résultat de l'action [MAR, 1996].
- D'une manière générale, l'organisation est un modèle permettant aux agents de coordonner leurs actions au cours de la résolution d'une ou de plusieurs tâches. Elle définit d'une part, une structure (ex., une hiérarchie) comprenant un ensemble de rôles qui doivent être attribués aux agents et un ensemble de chemins de communication entre ces rôles. Elle définit d'autre part un régime de contrôle (ex., une relation maître/esclave) qui dicte le comportement social des agents. Enfin, elle définit des processus de coordination qui déterminent la décomposition des tâches en sous-tâches, l'allocation des sous-tâches aux agents, et la réalisation des tâches dépendantes de façon cohérente [MAL, 1999].

2.2.2. Structure organisationnelle et organisation concrète

Nous distinguons deux niveaux d'organisation [FER, 1995] :

La structure organisationnelle. La structure d'organisationnelle est un invariant d'une classe d'organisations. Elle est caractérisée par :

- Des rôles affectés aux agents,
- Des relations abstraites existant entre ces rôles.

Organisation concrète. L'organisation concrète (ou simplement organisation) est une instantiation possible d'une structure organisationnelle. La figure 2.1 illustre cette différence [FER, 1995]. La structure organisationnelle O est décrite par l'ensemble des rôles qui peuvent y être tenus (A, B, C) alors que les structures concrètes comprennent un grand nombre d'entités concrètes (A_1, A_2, B_1, \dots), les A_i étant associées au rôle A . Les liens entre les entités concrètes ($g_1, g_2, h_1, h_2, \dots$) correspondent aux liens abstraits qui existent entre les entités abstraites (g, h, \dots). Par exemple, le lien abstrait g qui lie l'entité abstraite A à B s'exprime concrètement dans l'organisation concrète O_1 sous la forme de deux liens g_1 et g_2 qui relient respectivement A_2 à B_1 et A_1 à B_1 , alors que dans O_2 des liens g_1 et g_2 semblables relient respectivement A_1 à B_1 et A_1 à B_2 .

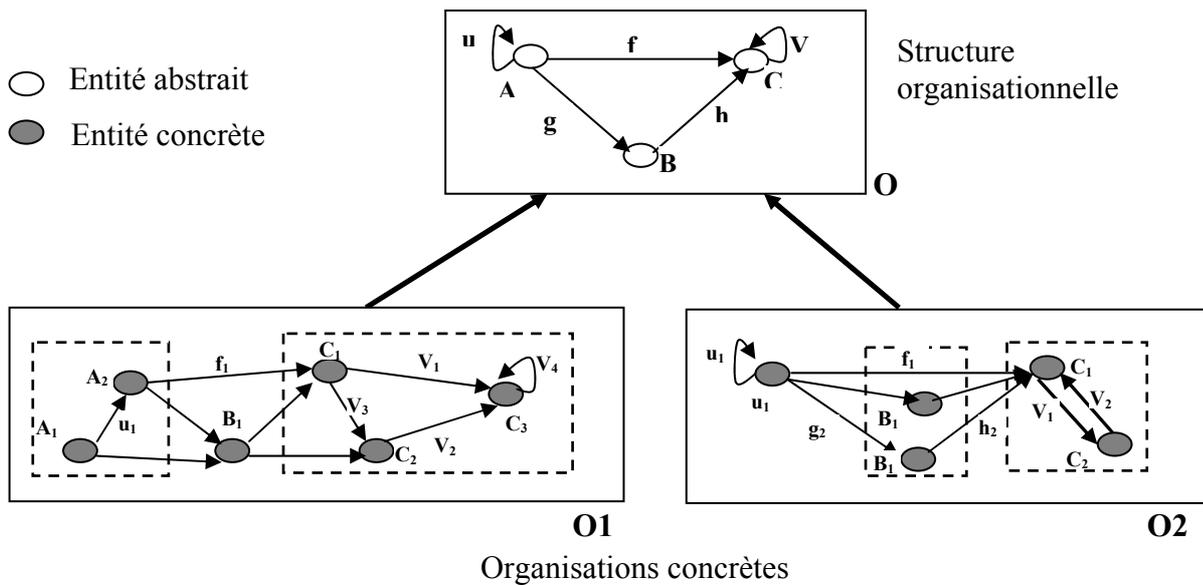


Figure 2.1 : Organisations et structures organisationnelles.

2.2.3. Relations organisationnelles

En termes d'organisation nous devons modéliser les relations qu'entretiennent les agents entre eux. Les agents devant disposer d'une représentation de ces relations pour pouvoir communiquer. On distingue deux types de relations organisationnelles :

- les relations statiques : qui forment le squelette d'une organisation.
- les relations dynamiques : qui constituent la chair des organisations et décrivent les relations qui sont modifiées lors des interactions.

Le tableau 2.1 décrit les principales relations que l'on rencontre dans les organisations multi-agents [FER, 1995] :

Relations	Statique	Dynamique
Accointance	–	–
Communicationnelle	–	–
Subordination	Maître/ esclave	Demande de service
Opérative	Dépendance entre tâches	Engagement de faire
Informationnelle	Dépendance entre savoirs	Engagement de validité
Conflictuelle	–	–
compétitive	–	–

Table 2.1 : Ensemble des relations organisationnelles.

On peut distinguer sept types principaux de relations :

- *Une relation d'acointance* entre deux agents A et B indique que A connaît B, qu'il en a une représentation et qu'il peut adresser ses communications directement à cet agent. Il s'agit de la relation minimale entre deux agents cognitifs. Elle sert généralement de support à toutes les autres relations.
- *Une relation communicationnelle*, ou plus exactement d'un canal de communication, entre deux agents A et B indique que A peut envoyer des messages à B. Les relations d'acointances sont les supports privilégiés de canaux de communication.
- *Les relations de subordination* décrivent un transfert d'exécution entre un agent demandeur A et un agent exécutant B. Lorsque cette relation est statique, cela signifie que B ne peut pas refuser la demande de A et donc que A et B sont dans une relation maître/esclave. Lorsqu'elle est dynamique, cela indique qu'A ne fait que demander des services à B et que B peut refuser les services de A.
- *Les relations opératives* représentent des dépendances liées aux tâches. Un agent A qui doit accomplir une tâche T_x peut avoir besoin, pour qu'elle soit réalisée, des résultats d'une tâche T_y d'un agent B. On dira dans ce cas, que A dépend de B pour ses actions. La forme dynamique de ces relations recouvre alors ce que l'on appelle les dépendances d'engagements. Un agent, en s'engageant à accomplir quelque chose, permet à d'autres agents de tabler sur cette réalisation et donc de planifier leurs propres actions, tout en dépendant de l'accomplissement de cet engagement.
- *Les relations informationnelles* portent sur les dépendances de validité entre les différents savoirs d'un agent. Lorsque le savoir d'un agent A dépend de celui de B, cela signifie que A n'a pas expérimenté par lui-même, mais qu'il s'en remet à B en ce qui concerne certaines croyances.
- *Les relations conflictuelles* indiquent que plusieurs agents sont en conflit pour accéder à certaines ressources. L'existence de telles relations indique qu'il est nécessaire de coordonner les accès aux ressources, éventuellement à partir d'une négociation entre agents.
- *Les relations compétitives* correspondent à une situation de compétition entre agents et signalent que leurs buts sont incompatibles.

2.2.4. Organisation et modèle d'organisation

Comme le soulignent J. Ferber [FER, 1995] et Y. Demazeau et *al.* [DEM, 1996] [MAL, 1996], il est important de distinguer un modèle d'organisation de son implantation. Cette distinction met l'accent sur le fait que les propriétés d'un modèle organisationnel, et donc du système, dépendent

essentiellement de la façon dont il est implanté. Pour qu’un modèle organisationnel fonctionne correctement, il faut par exemple que chaque rôle soit attribué à un agent au moins (capable de remplir ce rôle). En outre, pour qu’elle exhibe des propriétés spécifiques (ex., un certain degré de robustesse), l’implantation doit en plus respecter des contraintes qui ne sont pas forcément dictées par le modèle organisationnel (ex., chaque rôle est attribué à plusieurs agents).

2.3. Modèles d’organisation

Nous allons maintenant étudier plus en détails quelques modèles d’organisation existants pour les SMA. Nous essayons pour chacun de dégager les aspects qui nous semblent intéressants et ceux qui au contraire, méritent d’être modifiés. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons à l’organisation des agents mais sans tenir compte de leur structure interne.

2.3.1. AALAADIN(AGR) [GUT, 2001]

Le modèle AALAADIN (Agent-Groupe-Rôle) est à la base un projet de recherche, plus qu’une réelle méthode. Néanmoins, c’est un cadre de développement notable de systèmes multi-agents, fournissant des indications méthodologiques.

2.3.1.1. Concepts clés

Le modèle est basé sur l’association de trois concepts clés : l’agent, le groupe et le rôle, utilisés simultanément pour décrire des organisations concrètes d’agents. La figure 2.2 présente un diagramme UML de ce modèle de base.

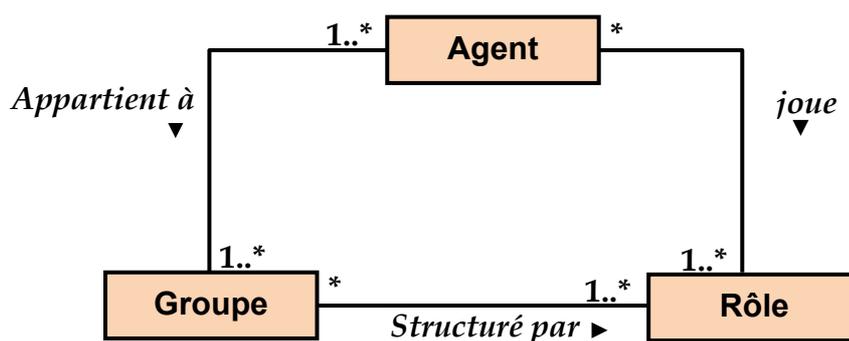


Figure 2.2 : Modèle Agent-groupe-rôle [GUT, 2001]

Sur [GUT, 2001] se fait le commentaire suivant :

« Un agent peut intervenir dans plusieurs communautés (que nous appellerons 'groupes' dans notre modèle) en parallèle. Il peut jouer dans chacun de ces groupes un ou plusieurs rôles correspondant à ses activités ou interactions. Ces rôles peuvent être portés par un nombre d’agents arbitraire, dépendant de la situation et des normes de l’organisation. »

- **Agent** : Dans ce modèle, un agent est une entité capable d'agir et de communiquer, qui peut jouer un ou plusieurs rôles dans un ou plusieurs groupes. Il n'existe aucune contrainte sur la structure interne de l'agent.
- **Groupe** : Le groupe comme la notion primitive de regroupement d'agents. Chaque agent peut être membre d'un ou plusieurs groupes. Dans sa forme la plus simple, un groupe peut être vu comme un moyen d'identifier par regroupement un ensemble d'agents. Le groupe est avant tout un terme générique pour qualifier une communauté d'agents en relation (par interaction, par partage d'un environnement, par un but ou une ontologie commune, ...).
- **Rôle** : Le rôle est la représentation abstraite d'une fonction, d'un point d'interaction ou d'une identification d'un agent au sein d'un groupe particulier. Chaque agent peut avoir plusieurs rôles, un même rôle peut être tenu par plusieurs agents, et les rôles sont locaux aux groupes.

2.3.1.2. Représentation

Soit la notation suivante :

- **G** : l'ensemble des groupes possibles
- **R** : l'ensemble des rôles possibles
- **A** : l'ensemble des agents (en tant qu'entités concrètes)
- **C** : l'ensemble des comportements possibles

La définition d'un groupe se fait par l'ensemble des rôles possibles que les agents [GUT, 2001] :

$$\text{defGroupe} : G \rightarrow 2^R$$
$$g \rightarrow \{r_1, \dots, r_n\}$$

L'expression de la prise de rôle d'un agent se fait dans l'espace des comportements possibles, si l'on suppose ceux-ci exprimés en fonction des rôles [GUT, 2001] :

$$\text{defRole} : A \times G \times R \rightarrow C(=2^R) \text{ processus si } r \in \text{roles}(g)$$
$$(a, g, r) \rightarrow \text{nil sinon}$$

2.3.1.3. Réalisation

Le modèle AGR est opérationnalisé par une plate-forme multi-agent nommée MadKit (pour Multi-Agent Development Kit). Cette plate-forme, réalisée en Java, est organisée autour d'un micro-noyau fournissant les services indispensables (gestion des groupes et rôles locaux, gestion du cycle de vie des agents, passage de message local et observation de l'exécution) [GAU, 2004]. Tous les autres services sont agentifiés, c'est-à-dire qu'ils sont fournis par des agents. Le résultat de cette

conception est une grande souplesse d'utilisation ainsi que des possibilités considérables d'adaptation à une situation particulière (mémoire réduite, exécution distribuée, etc.).

2.3.1.4. Apports et limites du modèle

Les points forts du modèle d'ALAADIN peuvent être résumés comme suite :

Hétérogénéité : l'intervention d'un agent dans plusieurs groupes permet d'établir une "passerelle" d'information entre deux portions d'un système potentiellement incompatible. Dans ce cas l'agent interface capable d'interagir dans les deux modèles d'interaction relatifs à l'un et l'autre groupe [GUT, 2001].

Modularité : Un agent agissant dans un groupe n'a pas le moyen de connaître l'activité d'un autre groupe auquel il n'appartient pas. Plus encore, à moins qu'un autre agent ne lui ait transmis une information spécifique, il n'en connaîtra même pas l'existence [GUT, 2001].

Fiabilité : La présence d'agents au sein d'un système suppose l'adhésion de tels agents aux schémas d'interactions ou aux ontologies ayant cours dans ce système [GUT, 2001].

En revanche, ce modèle reste parcellaire et ne prend son sens qu'associé à des modèles d'agents spécifiques ; ce modèle met l'accent uniquement sur l'aspect structurel, sans une spécification des aspects fonctionnels [SIA, 2005].

2.3.2. MOISE+ [HSB, 2002]

L'approche MOISE+ [HSB02b] a pour but de proposer une synthèse entre deux types d'approches globales des SMA :

- Les approches basées sur des plans globaux, s'intéressant à l'allocation des tâches aux agents, à la coordination pour exécuter un plan, etc.
- Les approches basées sur la notion de rôle et de structure organisationnelle.

Pour ce faire, les auteurs proposent de décrire une structure organisationnelle en trois volets : la spécification structurelle, la spécification fonctionnelle et la spécification déontique.

2.3.2.1. Spécification structurelle

La spécification structurelle est constituée d'un ensemble de rôles, de liens entre ces rôles et de groupes.

- **Les rôles** : ne sont à ce stade que des étiquettes. Ils peuvent être structurés par une relation d'héritage.

- **Les liens** : peuvent être de trois types : lien d'acointance (autorisant la représentation d'un agent par un autre), lien de communication (autorisant bien sûr la communication) et lien d'autorité (autorisant le contrôle d'un agent par un autre).
- **Les groupes** : sont constitués de rôles et de sous-groupes. A cela s'ajoutent des informations sur la cardinalité des rôles et des sous-groupes, une relation de compatibilité entre les rôles (indiquant si deux rôles peuvent être joués par le même agent), et une donnée sur la portée des liens (inter- ou intra-groupe).

La spécification structurelle de MOISE+ correspond donc au niveau abstrait d'Aalaadin ou aux concepts similaires dans les autres approches.

2.3.2.2. Spécification fonctionnelle

La spécification fonctionnelle est constituée de Schémas Sociaux. Un tel schéma est un ensemble de plans globaux, organisés en missions.

- **Un plan global** : est une arborescence de buts collectifs, décomposés en un arbre admettant trois types de décomposition : séquentielle, sélective ou parallèle.
- **Une mission** : est un ensemble de buts contenus dans un même plan global. Chaque mission possède une cardinalité décrivant combien d'agents peuvent l'accomplir simultanément.

2.3.2.3. Spécification déontique

Elle établit le lien entre les deux premiers types de spécification. Elle est formée de permissions et d'obligations qui spécifient les missions sur lesquelles un agent prenant un rôle donné peut ou doit s'engager, respectivement.

2.3.2.4. Apports et limites du modèle

MOISE+ propose un formalisme plus riche que les autres approches présentées ci-dessus. Il prend en compte des aspects importants, notamment : l'héritage entre rôles, les différents types de liens, et la représentation explicite d'une hiérarchie de buts collectifs. Ce modèle nous semble néanmoins souffrir de quelques imperfections [AMI, 2003] :

- L'absence de modèles d'interactions représente une lacune importante pour la spécification d'un SMA. Ce point devrait cependant être vite corrigé puisque [HUB, 2002] signale qu'un tel modèle est en cours de développement (ainsi d'ailleurs qu'un modèle environnemental).

- L'approche n'est pas du tout orientée vers la réutilisabilité ; en particulier, l'existence de liens inter-groupes exclut l'utilisation du groupe comme entité réutilisable dans un autre contexte.
- L'approche se limite à la spécification et n'aborde pas du tout le passage à l'implémentation. De fait, les agents sont les grands absents de MOISE+. Une réflexion semble donc s'imposer pour réduire le fameux « implémentation gap ».

2.3.3. MOISE^{Inst} [BEN, 2007]

L'OML MOISE^{Inst} définit une OS selon trois dimensions indépendantes : structurelle (SS), fonctionnelle (FS) et contextuelle (CS). Une quatrième dimension, la spécification normative (NS), joue le rôle de liant entre chacune d'elles.

2.3.3.1. Spécification structurelle

La spécification structurelle (SS) définit la structure de l'OE avec les notions de rôles, de groupes et de liens. Un rôle est défini par un identifiant pouvant être adopté par un agent. Dans la NS, un rôle est rattaché à un ensemble de contraintes sur le comportement des agents qui jouent ce rôle. Les rôles sont structurés par des relations d'héritage et par des liens visant à contraindre les interactions entre les agents jouant les rôles cibles et sources. Les liens peuvent être : des liens d'accointance (i.e. les agents jouant le rôle source sont autorisés à avoir une représentation des agents jouant le rôle destination), des liens de communication (i.e. les agents jouant le rôle source sont autorisés à communiquer avec les agents du rôle cible), des liens d'autorité (i.e. les agents sources sont autorisés à contrôler les cibles du lien). Liens et rôles sont inscrits dans des spécifications de groupe.

2.3.3.2. Spécification fonctionnelle

La spécification fonctionnelle (FS) distingue MOISE^{Inst} des différents OML existant. Elle structure les buts qui doivent être satisfaits par l'organisation en schémas sociaux, arbres de décomposition de buts, dont la racine est le but du schéma. Les opérateurs de décomposition expriment l'exécution séquentielle/en parallèle et la possibilité de choix. Tous les buts d'un schéma social (but racine et sous buts) sont regroupés en missions, i.e. ensemble cohérent de buts qui sont à affecter à des rôles.

2.3.3.3. Spécification contextuelle

Une spécification contextuelle exprime un ensemble d'états de l'OE et de transitions entre ces états. Elle définit ainsi la dynamique de l'OE étant donné l'occurrence de différents événements. Cette spécification est utilisée pour exprimer le contexte dans lequel les agents doivent respecter des normes spécifiques.

2.3.3.4. Spécification normative

La spécification normative (NS) rassemble l’ensemble des spécifications (SS, FS et CS) dans une organisation cohérente et normative par le biais de la définition d’un ensemble de normes. Dans MOISE^{Inst}, les normes restreignent la définition des droits à des permissions et les devoirs à des obligations, interdictions des agents lorsque ceux-ci jouent des rôles ou appartiennent à des groupes. Ces droits et devoirs concernent l’exécution de missions dans un contexte particulier et pendant une durée donnée.

2.3.4. AGRE [FER, 2005]

Plusieurs extensions d’AGR ont été proposées pour intégrer les environnements. La première, issue des travaux de Parunak et Odell, consiste à relier directement la notion d’environnement et celle de groupe [PAR, 2002]. Mais cette extension ne résout pas vraiment les problèmes liés à l’intégration des environnements d’une manière convaincante. De nombreuses questions demeurent sur la relation qui existe entre un agent et son environnement, c’est-à-dire entre ce qui lui permet d’agir dans un environnement, son corps, et la détermination de son comportement par l’intermédiaire de son architecture.

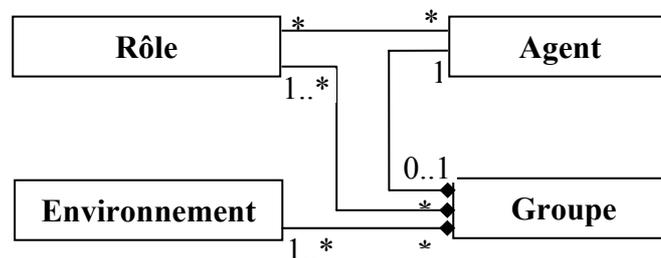


Figure 2.3 : L’extension d’AGR avec environnement proposée par Parunak et Odell [FER, 2005].

C’est pourquoi, il faut aller plus loin dans la représentation d’un agent que nous avons fait initialement. Un agent doit être pensé avec son corps « physique » dans un environnement et avec un corps « social » dans un groupe. C’est la démarche que propose [FER, 2005] avec AGRE, une extension de AGR qui intègre l’environnement en l’unifiant avec le modèle social. Le principe est le suivant : un agent possède un certain nombre de représentants, appelés *modes*, qui sont ses « interfaces », ses manières d’être et d’agir dans un monde. Il existe deux types de modes : les modes physiques que l’on appelle *corps* et les modes sociaux que l’on nomme *rôle* pour être cohérent avec AGR. Les rôles sont donc alors les manières sociales d’agir dans un groupe, alors que les corps sont les manières physiques d’agir dans une zone, c’est-à-dire une partie d’environnement.

2.3.5. MASCARET

Le modèle MASCARET (MultiAgent System for Collaborative and Adaptive Realistic Environment for Training) [QUE, 2002], il comprend un modèle générique d'organisation qui est ensuite dérivé de deux manières pour s'adapter d'une part à l'environnement physique, et d'autre part à l'environnement social.

Le modèle générique de MASCARET, représenté sur la Figure 2.4 reprend la notion de rôle, qui désigne ici les différentes responsabilités des agents dans l'organisation. Chaque rôle impose des pré-requis, une liste de capacités qu'un agent doit posséder pour pouvoir jouer ce rôle. Dans MASCARET, un groupe s'appelle une organisation. Dans le modèle dérivé appliqué à l'environnement social représenté Figure, on voit que les groupes utilisés sont en fait des équipes.

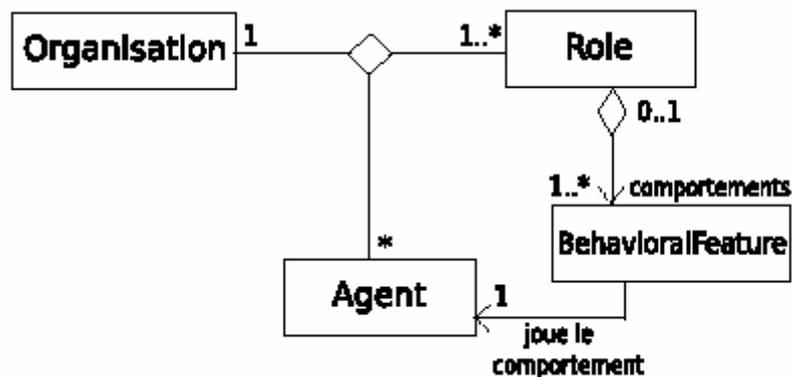


Figure 2.4 : Le modèle générique de MASCARET[NIC, 2006].

De plus, les équipes gérées sont hiérarchiques, les agents doivent donc pouvoir gérer les relations avec leurs supérieurs et leurs subordonnés. Comme le décrit la Figure 2.5, une équipe doit remplir plusieurs missions. Une mission consiste en un ensemble de buts et chaque agent de l'équipe qui effectue cette mission doit œuvrer pour la réalisation de ces buts. Une mission sert de cadre à la coordination des agents.

Pour participer efficacement à cette organisation, chaque agent est doté d'un comportement collaboratif et d'un comportement organisationnel.

- *Comportement collaboratif* : C'est ce comportement qui est utilisé par l'agent pour participer à la réalisation des buts de l'équipe (suivi de la procédure. . .).
- *Comportement organisationnel* : Le comportement organisationnel permet à l'agent d'intégrer la structure de l'organisation dans son raisonnement. Dans une organisation hiérarchique, si un agent est face à un problème (que le comportement collaboratif ne lui permet pas de résoudre), il en réfère à son supérieur.

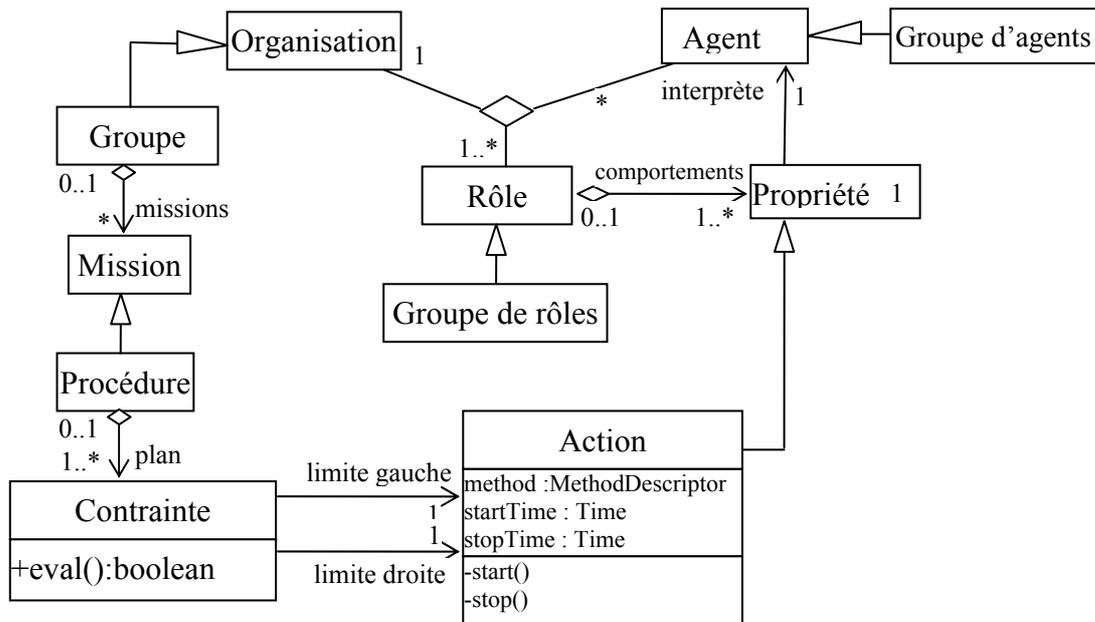


Figure 2.5 : Le modèle complet de l’environnement social de MASCARET [NIC, 2006]

2.3.6. OMNI

OMNI (Organizational Model for Normative Institutions) [VZQ, 2004], est plus qu’un simple modèle d’organisation sociale, c’est un *Framework* pour modéliser des organisations d’agents. OMNI a été créé avec pour objectif d’équilibrer les besoins globaux de l’organisation avec l’autonomie des agents. Cela signifie que le modèle d’organisation ne doit pas être trop centré agent (il devient alors difficile de modéliser les interactions des agents dans la société), ni trop centré organisation (sinon les agents se retrouvent fixés dans des protocoles rigides). Pour cela, le cadre d’OMNI se décompose en trois dimensions :

Dimension organisationnelle : Elle décrit la structure d’une organisation et peut être vue comme un moyen de gérer des dynamiques complexes. Elle met en place les relations entre trois modèles : le modèle organisationnel qui spécifie les caractéristiques de la société en termes de structure sociale (rôles) et de structure d’interaction (scripts de scènes), le modèle social qui fixe l’acceptation des rôles par les agents dans des contrats sociaux qui décrivent leurs droits, leurs devoirs et leurs responsabilités, et le modèle d’interaction dans lequel des scènes d’interaction concrètes sont créées dynamiquement par les agents, basées sur les scripts identifiés auparavant.

Dimension normative : Elle représente les normes et les règles auxquelles les agents doivent adhérer. Après avoir défini les normes au niveau de l’organisation, elles sont transformées en règles interprétables par les agents (qui savent alors quoi faire, mais pas comment). Enfin, on définit les mécanismes finaux pour que les agents interprètent ces règles. Il y a alors deux

approches, soit on crée un interpréteur que tous les agents devront posséder, soit on transforme les règles en protocoles à inclure dans les contrats d'interaction.

Dimension ontologique : Elle définit à la fois le contenu et le langage de communication sur plusieurs niveaux d'abstraction. On commence par définir tous les concepts du *Framework* lui-même tels que les normes, règles, rôles, groupes . . . Ensuite on spécifie le contenu de la communication, ou connaissance du domaine. Enfin, on décrit les actes de langages spécifiques utilisés par les agents pour communiquer.

Dans OMNI, en plus des agents externes (agents qui pour une raison ou une autre peuvent décider ou non de jouer un rôle dans la société), il y a aussi des agents institutionnels (qui jouent des rôles de 'facilitation'), qui veillent au bon fonctionnement de la société. Par exemple, un agent peut avoir pour rôle de noter chaque agent en terme de performance afin d'établir un annuaire de confiance, ou encore être responsable de décider qui entre dans la société ou non. Une très bonne idée d'OMNI est de représenter explicitement la dimension ontologique.

Le problème que l'on rencontre avec OMNI est que la gestion des objectifs de l'organisation se fait à l'intérieur de sa dimension organisationnelle (et donc concerne la structure du SMA). Cela signifie que l'organisation est conçue avec un but précis et ne peut alors être utilisée dans un autre but sans subir de modification. Cela peut être assez gênant dans un environnement dynamique dans lequel les buts peuvent changer.

2.3.7. Cassiopée

Cassiopée, développée par Collinot et Drogoul, est l'une des méthodes les plus originales, car elle est issue du domaine de la simulation multi-agent influencée par l'éthologie [COL, 1996] [DRO, 2000]. C'est l'une des seules méthodes bottomup, ou ascendantes, qui part des actions nécessaires à l'obtention d'une tâche globale, pour arriver à la définition des rôles organisationnels et structures collectives.

Les concepts clés

Cassiopée repose sur quelques concepts clés : rôle, agent, dépendances et groupes. Un agent est vu comme un ensemble de rôles organisés en trois niveaux :

- *Rôles individuels*, qui sont les comportements que les agents sont individuellement capables de mettre en œuvre, indépendamment de la façon dont ils le font ;
- *Rôles relationnels*, c.-à-d. comment ils choisissent d'interagir avec les autres (en activant/- désactivant les rôles individuels), en se basant sur les dépendances mutuelles qu'entretiennent les différents rôles individuels ;

- *Rôles organisationnels*, ou comment les agents peuvent gérer leurs interactions pour devenir ou rester organisés (en activant/désactivant leurs rôles relationnels).

Les notations

La spécification des comportements des agents repose principalement sur deux types de graphes dans Cassiopée : les graphes de couplage des comportements élémentaires, et les graphes d'influences (voir figure 2.6). Ces graphes sont des graphes de type états/dépendances. Les nœuds représentent les états possibles d'un agent, et les flèches spécifient des dépendances en terme de coopération entre les états par exemple.

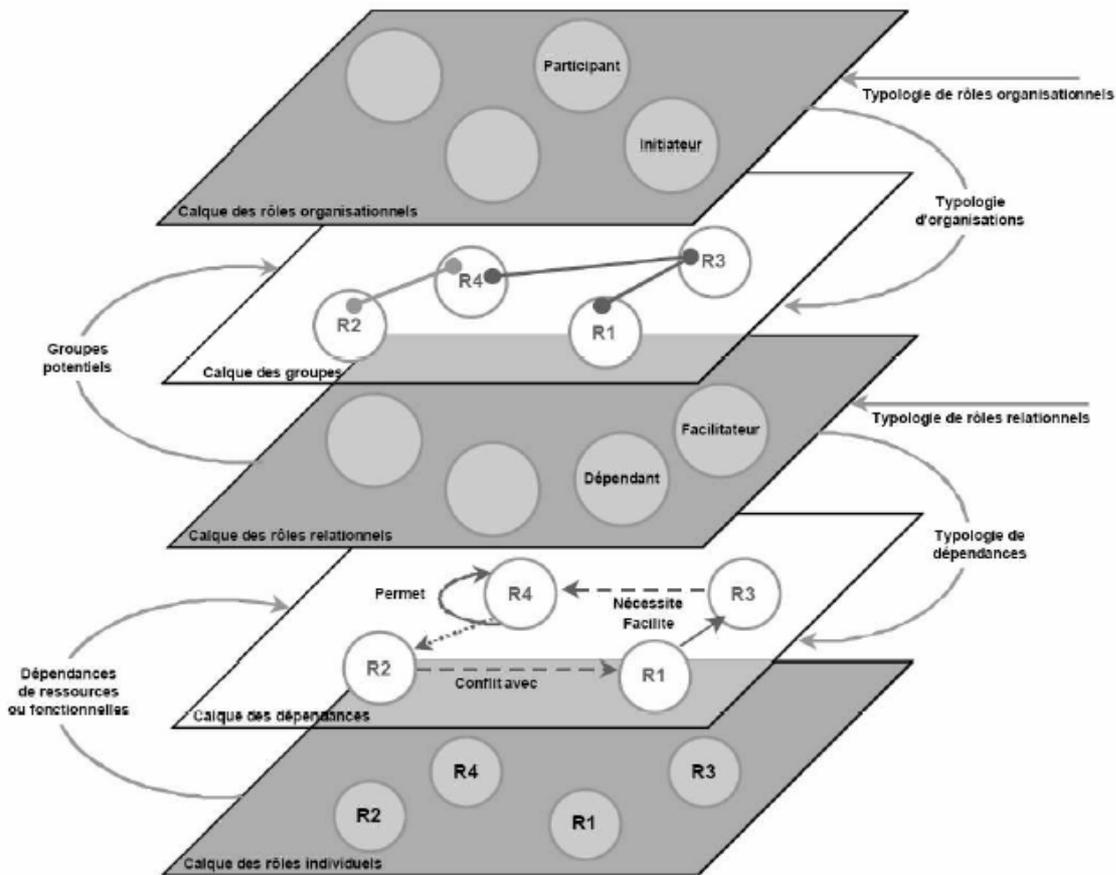
Les graphes d'influences permettent de dériver des rôles relationnels et des types d'agents par groupement d'états.

Le processus

Le processus de Cassiopée se décompose en cinq phases, ou cinq calques (voir figure 2.6), qui alternent entre le point de vue local (agents) et le point de vue global (organisation) :

- *Calque des rôles individuels*, qui définit les différents rôles d'agents, ou tâches, nécessaires, et permettent de définir les différents types d'agents ;
- *calque des dépendances*, qui définit les dépendances entre rôles, grâce à des graphes de dépendances ;
- *calque des rôles relationnels*, qui définit la façon dont les agents gèrent ces dépendances, en jouant les rôles relationnels adéquats ;
- *calque des groupes*, qui définit les groupes pouvant apparaître en cours de résolution ;
- *calque des rôles organisationnels*, qui décrit la dynamique de ces groupes, c.-à- d. les rôles organisationnels que les agents peuvent jouer pour les faire apparaître, évoluer ou disparaître.

Ce processus se limite donc aux phases d'analyse, et au début de la conception, si on considère la définition des états internes comme appartenant à la conception (dans les processus classiques orientés objet, c'est le cas).



2.3.8. GAIA

Gaia est une extension des approches d'ingénierie logicielle classique. C'est une méthode plus complète et bénéficie, de plus, d'une large reconnaissance dans le domaine multi-agent.

Les concepts clés

Gaia se veut être générale et applicable à n'importe quel domaine, et compréhensible par la distinction entre macro-niveau et micro-niveau. Les agents modélisés, pouvant être hétérogènes, sont des systèmes computationnels à gros grain, qui vont essayer de maximiser une mesure de qualité globale. Toutefois, Gaia ne prend pas en compte les systèmes admettant de réels conflits. L'organisation (d'une centaine d'agents environ) est clairement statique dans le temps, de même que les services offerts par les agents.

Gaia manipule six modèles d'analyse et de conception différents :

- *modèle de rôle* qui identifie les différents rôles devant être joués par les agents du système. C'est une description abstraite de la fonction attendue pour une entité donnée. Outre sa description textuelle, un rôle possède trois attributs – les *responsabilités*, les *permissions/- droits* et les *protocoles* de communication disponibles pour le rôle – qui sont regroupés dans un schéma de rôle. Les permissions

établissent les ressources auxquelles un rôle a le droit d’accéder. Les responsabilités déterminent la fonctionnalité du rôle en terme de sûreté (*safety*) et de vivacité (*liveness*) ;

- *modèle d’interaction* qui définit les protocoles de communication entre agents. Dans Gaia un protocole est défini comme par nom, un expéditeur, un récepteur, une description, des entrées et des sorties. Les protocoles définissent les dépendances et les relations entre rôles ;
- *modèle d’agent* qui attribue les rôles aux différents agents du système. Il identifie les différents types d’agents et leurs instances ;
- *modèle de service* qui définit, comme son nom l’indique, les différents *services* offerts par le système, et les agents tributaires. Un service est vu comme une fonction d’un agent et possède les caractéristiques suivantes : des entrées, des sorties, des pré-conditions d’exécution et des post-conditions.
- *modèle d’organisation* ou d’*accointances* qui définit la structure de l’organisation grâce à des graphes orientés représentant les voies de communication entre agents. Différent types de relations existent : contrôle, pair (*peer*), dépendance, et d’autres pouvant être définis ;
- *modèle environnemental* qui décrit les différentes ressources accessibles caractérisées par les types d’actions que les agents peuvent entreprendre pour les modifier.

Gaia rend facile la manipulation d’un grand nombre de concepts multi-agents, grâce à ces modèles, ce qui a certainement fait sa popularité. La propriété d’autonomie de contrôle ou de rôle des agents est exprimée par le fait qu’un rôle encapsule sa fonctionnalité, qui est interne et non affectée par l’environnement. La réactivité et la pro-activité sont, elles, plus ou moins exprimées grâce aux propriétés de vivacité des responsabilités. On peut regretter que l’environnement ne soit défini que comme une liste de variables caractérisées en lecture ou écriture. Enfin, les notions sociales sont abordées dans le modèle organisationnel d’*accointances*.

Les notations

Gaia ne fournit pas de notation graphique à proprement parler. En effet, le modèle de rôles et les protocoles ne sont décrits que par des tables. Ceci n’enlève en rien la précision obtenue grâce, notamment, aux propriétés de sûreté ou de vivacité. Les autres modèles sont aussi clairement accessibles. Les rôles étant clairement distincts, la modularité fait partie des avantages de cette approche. Par contre, comme aucune présentation hiérarchique n’est disponible, la gestion de la complexité organisationnelle ou fonctionnelle n’est pas prise en compte et limite donc les systèmes

développés grâce à Gaia, à des organisations simples et rigides. Enfin, Gaia n'aborde pas le problème de l'exécutabilité.

Le processus

La figure 2.7 montre le processus de développement proposé dans Gaia. Trois phases sont principalement abordées : l'analyse, la conception architecturale et la conception détaillée. Lors de l'analyse, le système se voit divisé en sous-organisations, dont vont découler les modèles d'environnement, de rôle et d'interaction (préliminaires). A partir de ces modèles, l'analyse doit spécifier les règles organisationnelles (permissions, vivacité et sûreté) de dépendances entre rôles. La conception architecturale doit aboutir au raffinement des modèles de rôle et d'interaction par l'analyse des structures organisationnelles. Enfin, lors de la conception détaillée, les modèles d'agent (détermination des types et instances d'agents) et de services sont implantés. Ce processus est donc très limité, et se focalise uniquement sur les premières phases de conception. Il n'y a donc pas de phase de vérification/validation.

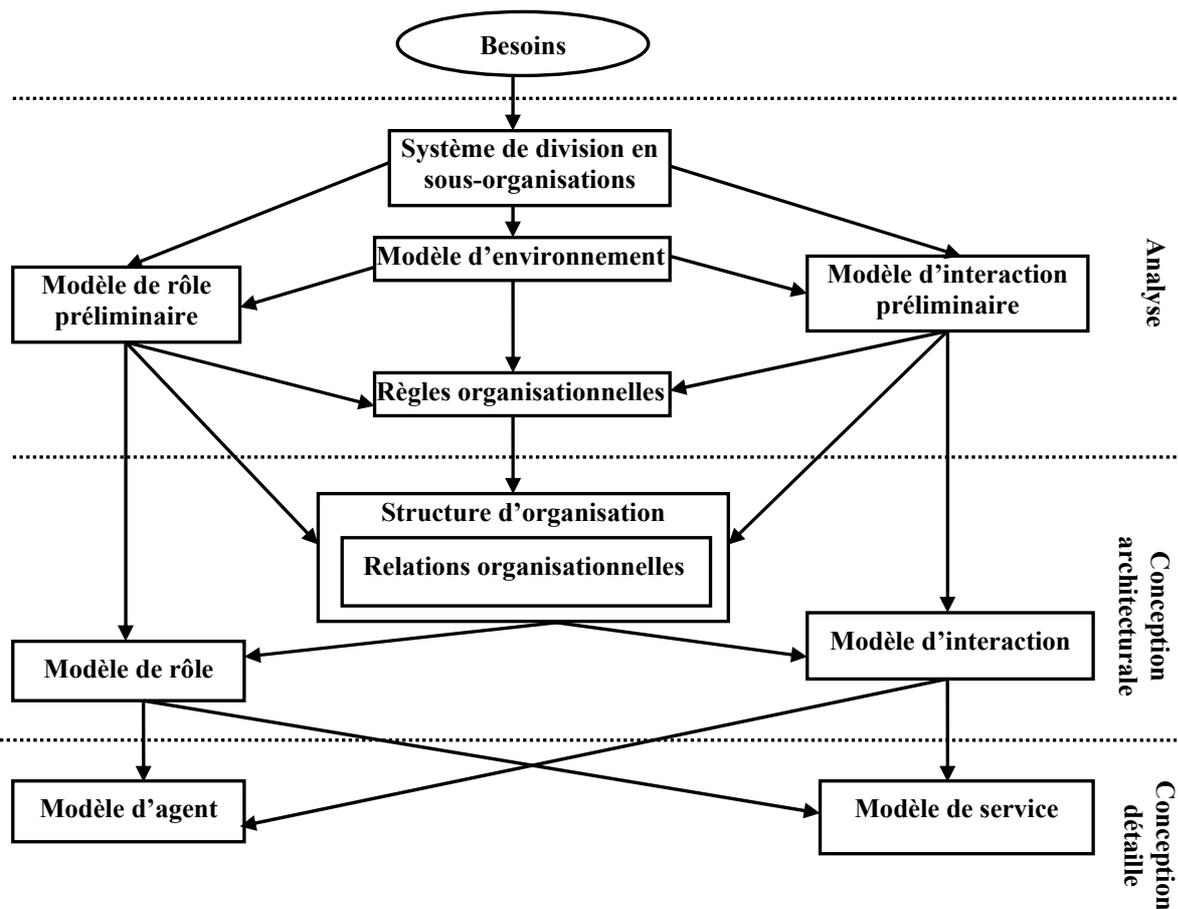


Figure 2.7 : Le processus de développement de Gaia et les modèles manipulés.

2.3.9. MASA-Method [LAH, 2005]

La méthodologie de développement MASA-Method est une méthode complète. Elle intègre les trois principales du développement organisationnel des SMA. Il est à noter aussi que le processus méthodologique de MASA-Method est mixte et dirigé par objectif. Un processus méthodologique mixte peut prendre en considération les aspects ascendant et descendant dans le développement d'un SMA donné. Une méthodologie mixte permet alors de diriger le développement d'agents de façon descendante en partant de l'organisation comme le font les méthodologies descendantes. L'aspect ascendant de MASA-Method vient du fait que son processus méthodologique inclut l'intégration des agents.

Développement des organisations

La description des organisations dans MASA-Method et décrit les dérivations de leurs différents éléments à partir des expressions des tâches des systèmes.

Organisation élémentaire

Une organisation élémentaire O est un système de rôles. Une organisation élémentaire (figure 2.3) peut être décrite comme un couple (SR, CR) où :

- SR est un ensemble de rôles.
- CR est une relation de communication entre rôles.

Un rôle inclut un ensemble de qualification (en particulier, savoir-faire) exigé de l'agent A qui est candidat pour assumer ce rôle pour que cet agent puisse assumer ce rôle de façon cohérente. Le rôle inclut également un protocole de communication indiquant à l'agent A comment il doit communiquer avec les agents assument les autres rôles de l'organisation O .

La description d'une organisation élémentaire O sous forme d'un couple (SR, CR) où :

1. SR : $SR = \{r / r \text{ est un rôle}\}$ où r est un triplet sous la forme (SKP, SCP, T)
 - a. SKP : $SKP = \{kp / kp \text{ est une procédure du savoir-faire nécessaire. Une procédure du savoir-faire est une combinaison d'un ensemble d'actions}\}$ L'ensemble des actions $SAct$ est défini comme suit :
 $SAct = \{Action / Action \text{ est une description d'une actions élémentaire qui sera accomplie sur l'environnement par l'agent qui assumera le rôle } r\}$
 - b. SCP : $SCP = \{cp / cp \text{ est un protocole de communication}\}$,
 - c. T : Tâche est la partie de tâche de l'organisation que représente le rôle r dans l'organisation.
2. CR : $CR = \{(r1, r2) / (r1, r2) \in SR \times SR \text{ et } r1 \text{ est en relation de communication avec le rôle } r2\}$

Figure 2.8 : Définition d'une organisation [LAH, 2005]

2.4 Bilan

De manière générale, les modèles organisationnelles proposés dans la littérature, ne sont pas adaptées à la conception de systèmes complexes adaptatifs car la plupart des méthodologies de conception de SMA, basées sur ces modèles, partent des agents et d'une description de leur organisation. Le concepteur n'a pas toujours les connaissances de l'organisation finale qui permet d'aboutir à la réalisation de la fonction globale du système.

En outre, ces méthodologies n'expliquent pas toujours comment décomposer un système afin d'identifier des agents, mais à quoi le système devra ressembler une fois que les différentes structures seront mises en place [MAR, 2003]. Ceci peut amener à poser beaucoup de difficulté au concepteur lors de détermination des rôles des agents.

Le tableau ci-dessus (tableau 2.3) synthétise et compare les différentes méthodes.

	Aalaadin	MOISE+	MOISEI ^{rst}	AGRE	MASCARET	OMNI	Cassiopée	Gaia	MASA
Adaptation	+	+	±	+	±	+	+	-	+
Autonomie	+	+	+	+	+	++	+	+	+
Environnement	±	--	--	++	++	--	-	±	--
Groupe	++	+	+	++	+	+	+	±	+
Interaction/Message	++	+	+	++	+	+	-	+	++
Organisation	++	+	++	++	++	++	++	++	++
Ouverture	-	--	-	-	+	+	+	--	++
Rôle	++	+	++	++	++	++	++	++	++
Tâche	±	+	++	++	+	++	±	+	++

Notation : (++) pour les propriétés pleinement et explicitement prises en charge ; (+) pour les propriétés prises en charge de manière indirecte ; (±) pour des propriétés potentiellement prises en charge ; (-) pour des propriétés non prises en charge ; (--)
pour des propriétés explicitement non prises en charge.

Tableau 2.2 : Synthèse de la comparaison des différentes méthodes [GAU, 2004]

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art sur le concept d'organisation qui est une technique pour contraindre le comportement des agents vers la satisfaction des buts globaux. Plusieurs Modèles d'organisation ont été ainsi présentés. La prise en compte de l'organisation dans le système multi-agent engendre une perte de certain degré de l'autonomie des agents. Ceci peut amener à des systèmes rigides non adaptatifs. L'utilisation des systèmes multi-agent dans la conception des systèmes complexes évoluant dans des environnements imprévisibles exige la prise en charge de l'aspect dynamique de l'organisation. Cet aspect donne au système la capacité de se réorganiser automatiquement. Dans le chapitre suivant, nous abordons la notion de réorganisation dans les SMA. Nous présentons ainsi que quelques mécanismes de réorganisation qui peuvent être mis en œuvre pour doter un système multi-agent de capacités d'adaptation.

Réorganisation des Systèmes multi-agents

3.1. Introduction

Les recherches menées actuellement dans le domaine multi-agent s'intéressent particulièrement aux systèmes dotés d'une très forte dynamique et constitués de nombreux agents. Chaque agent n'a qu'une vue partielle du système dans lequel il est situé et évolue de manière autonome [VAL, 1998]. Par autonomie nous sous-entendons, autonomie dans son comportement, dans sa prise de décision.

Il est donc impossible, dans ce contexte, d'avoir une vision globale du système. La dynamique inhérente à ces systèmes provient des nombreuses créations, suppressions et modifications d'agents toutes décidées de manière autonome, ainsi que de la pression exercée par l'environnement dans lequel le système est immergé. Dès lors, on comprend aisément qu'il est utopique voire impossible de vouloir prévoir, dès la conception, toutes les situations pouvant survenir durant le fonctionnement du système car l'imprévu fait partie intégrante de la problématique [VAL, 1998].

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la problématique de réorganisation dans les systèmes multi-agents comme un moyen d'adaptation, c.-à-d. les agents ne se réorganisent pas pour l'obtention d'un résultat particulier mais pour s'adapter uniquement aux perturbations extérieures. Nous présentons quelques mécanismes de réorganisation qui peuvent être mis en œuvre pour doter un système multi-agent de capacités d'adaptation.

3.2. Quelques définitions

La réorganisation une notion qui a été initialement étudiée et appliquée dans les secteurs de la biologie, de la physique et de la chimie. Elle est également étudiée dans les domaines de la

systémique, de la vie artificielle et des systèmes naturels, mais n'est qu'à l'état de recherche dans le domaine de l'informatique et particulièrement dans celui de l'intelligence artificielle. La plus ancienne définition du concept de réorganisation, celle proposée en 1954 par Farley et Clark [FAR, 1954] :

« Un système auto-organisateur est un système qui change sa structure de base comme fonction de son expérience et de son environnement. »

Une autre définition proposée par Francisco Varela [VAR, 1988] :

« La réorganisation est une description d'un comportement, elle a une valeur heuristique et elle permet d'indiquer un phénomène. Elle est condamnée à rester une simple description, tant qu'on ne se préoccupe pas de rechercher le mécanisme qui est à son origine. »

La définition proposée par Krippendorff [KRI, 1997] est plus concrète :

« La réorganisation est un processus où l'organisation (contrainte, redondante) d'un système croît de manière spontanée, i.e. sans que cet accroissement soit contrôlé par l'environnement ou ce qui l'entoure ou encore un système externe. »

Pierre Marcenac [MAR, 1997], définit ainsi la réorganisation :

« La réorganisation définit la propriété d'un système qui s'organise ou se réorganise dans le temps, pour former des structures sémantiquement remarquables. »

Eric Bonabou [BON, 1997] propose une définition très explicite qui introduit le concept d'émergence :

« L'auto-organisation caractérise tout processus au cours duquel des structures émergent au niveau collectif (ou plus généralement apparition d'une structure à l'échelle $N+1$ à partir d'une dynamique définie à l'échelle N), à partir de la multitude des interactions entre individus, sans être codées explicitement au niveau individuel ».

Le groupe de travail MARCIA [MAR, 1996] s'est intéressé au concept d'auto-organisation. La définition qu'il en a donnée est la suivante : *« l'auto-organisation correspond à une réorganisation décidée de manière autonome par les agents au sein du système. [...] l'auto-organisation d'un système s'est produite si le système a changé de structure ».*

La définition proposée par l'équipe SMAC [PIQ, 1996] est conforme à celle proposée par Varela [VAR, 1993]. L'auto-organisation d'un système consiste en la transformation de la topologie (c'est-à-dire des connections du réseau) de ses parties en tant que résultat du fonctionnement de ce même réseau dans le cadre du couplage structurel avec l'environnement. Dans un système auto-organisateur, les règles d'organisation sont intérieures au système, qui apparaît

informationnellement clos. Les systèmes auto-organiseurs appartiennent à la classe des systèmes autonomes (systèmes spécifiés par des mécanismes internes d'auto-organisation) et non pas hétéronomes (définis par des mécanismes extérieurs de contrôle).

3.3. Connaissances de la réorganisation

Dans cette section, nous montrons où situer les connaissances de réorganisation dans le système : aux niveaux des agents eux-mêmes, ou indépendamment des agents.

	Organisation implicite	Organisation explicite
Réorganisation implicite	<i>- la connaissance de l'organisation et celle de la réorganisation sont situées au niveau des agents.</i>	<i>- l'organisation est une entité manipulable tant que telle mais la connaissance de se réorganiser ça n'existe qu'au niveau des agents.</i>
Réorganisation explicite	<i>-la connaissance de l'organisation est située au niveau des agents et le savoir de la réorganisation est spécifié explicitement.</i>	<i>l'organisation est une entité manipulable tant que telle mais la connaissance de se réorganiser est spécifiée explicitement.</i>

Tableau 3.1 : situation des connaissances de l'organisation et réorganisation [SIA, 2005].

Le tableau ci-dessus (tableau 3.1) illustre les différentes possibilités où la connaissance organisationnelle et celle de la réorganisation sont situées, discutant les quatre situations [SIA, 2005] :

- *Organisation implicite – Réorganisation implicite* : la connaissance de l'organisation et celle de la réorganisation sont situées au niveau des agents. le fait de situer la connaissance organisationnelle au niveau des agents empêche une analyse fine de l'organisation. Ainsi, sa remise en cause pour décider une réorganisation devient une tâche très difficile à accomplir. Même si le système décide de se réorganiser l'évaluation du processus de réorganisation est aussi difficile du fait que le savoir concernant la réorganisation est situé au niveau des agents.
- *Organisation implicite – Réorganisation explicite* : la remise en cause d'une organisation est difficile du fait que la connaissance organisationnelle est située au niveau des agents. l'évaluation du processus de réorganisation devient simple par rapport à la situation précédente. cependant, le départ et le résultat du processus, l'organisation de départ et la nouvelle organisation résultante du processus de réorganisation sont situées au niveau des agents. Ceci suppose des connaissances et

des contraintes posées sur l'architecture interne des agents, empêchant ainsi d'avoir des modèles de réorganisation génériques.

- *Organisation explicite - Réorganisation implicite* : le fait d'explicitier l'organisation rend son analyse plus simple et donc sa remise en cause et la nouvelle organisation sont analysable facilement même le savoir de réorganiser et implicite. cependant l'évaluation de l'efficacité du processus de réorganisation est toujours délicate.
- *Organisation explicite - Réorganisation explicite* : ici l'analyse de l'organisation, sa remise en cause, le processus de réorganisation et son résultat peut être fine, avec la possibilité d'avoir des modèles génériques indépendamment des architectures internes des agents. Situer les connaissances organisationnelle et réorganisationnelle au niveau des agents ou à deux niveaux différents rend la conception et l'analyse de l'organisation ou/et la réorganisation plus compliquées, se qui motive avec la possibilité d'avoir des modèles génériques d'explicitier à la fois l'organisation et la réorganisation.

3.4. Point de départ et niveaux de décision de réorganisation

Selon le point de départ de réorganisation du système on peut distinguer [SIA, 2005]:

- les systèmes où l'organisation du départ est le résultat de l'instanciation d'une spécification conçue et définie par le concepteur et le système commence par cette organisation quelque soit l'état de son environnement en préservant cette organisation jusqu'à ce que la réorganisation soit nécessaire.
- Le deuxième type des systèmes sont ceux où l'organisation de départ est obtenue d'une manière dynamique, le système s'auto organise selon l'état de son environnement. Dans un jeu de stratégie les agents se positionnent en fonction des positions occupées par l'adversaire.
- L'organisation dynamique peut être réalisée par la spécification d'organisation paramétrable,

Selon le point de la prise de décision pour se réorganiser on peut distinguer :

- les systèmes où la décision est centralisée au niveau d'un seul agent,
- les systèmes dont la décision est répartie sur tous les agents et donc la réorganisation émerge des comportements adaptatifs des agents,

- finalement les systèmes où la prise de décision est centralisé au niveau d'un ensemble d'agents et distribuée sur ses agents.

3.5. Mécanisme de réorganisation

Un mécanisme de réorganisation signifie comment se réorganiser ou sur quoi doit en porter des changements pour restructurer l'organisation d'un système et aboutir à une autre. Les mécanismes de réorganisation peuvent être classés selon plusieurs points de vue, et selon plusieurs critères [MAL, 1999] :

Young-pa So et *al.* [So, 1993], On peut distinguer les mécanismes de réorganisation qui adoptent une approche globale descendante, de ceux qui adoptent une approche locale ascendante. Dans la première, un agent impose la restructuration de l'organisation. Dans la seconde, chaque agent participe à la réorganisation sans avoir une vision globale du système. Chaque agent décide d'appliquer un changement local. Ce changement peut pousser les autres agents à réaliser à leur tour des changements locaux, et donc engendrer des modifications en cascade, de telle sorte que la réorganisation globale émerge des comportements individuels.

Slon Toru Ishida et *al.* [ISH,1992], Les mécanismes de réorganisations peuvent être différenciés selon la nature de l'organisation. Certains mécanismes modifient la structure d'interactions ou l'attribution des rôles. Ces organisations sont modifiées en changeant les propriétés structurelles de l'organisation, telles que le nombre d'agents, leur type, leurs structures d'interactions (ex., connections inter-agents) ou en modifiant la distribution des rôles. D'autres modifient la connaissance des agents (ex., les compétences, les croyances, les buts), ou la distribution de cette connaissance dans le système.

On peut même parler sur le changement de la répartition physique des agents à travers le réseau, et la réorganisation logique qui modifie la distribution des compétences, des savoir-faire, entre les différents agents [GUI, 1996].

3.6. Quelque Travaux de réorganisation

3.6.1. Auto-organisation par coopération [GEO, 2003]

La théorie des AMAS a été développée au sein de l'équipe SMAC de l'IRIT est une théorie de l'auto-organisation basée sur la coopération dans laquelle :

- le système est plongé dans un environnement,
- le système réalise une fonction,
- le système est composé d'agents autonomes en interaction,
- chaque agent du système réalise une fonction partielle,
- l'organisation du système détermine le résultat du système.

3.6.1.1. Théorème de l'adéquation fonctionnelle

Le théorème suivant, sur lequel se base la théorie AMAS, traite de l'adéquation fonctionnelle (voir Note 1) de systèmes artificiels, l'adéquation fonctionnelle d'un système étant un jugement effectué par un observateur sur la pertinence de son activité dans l'environnement. Il permet de se consacrer à l'étude et l'élaboration de systèmes à milieu intérieur coopératif (voir Note 2) afin d'obtenir des systèmes fonctionnellement adéquats.

Théorème. *Pour tout système fonctionnellement adéquat, il existe au moins un système à milieu intérieur coopératif qui réalise une fonction équivalente dans le même environnement.*

Note 1 :

Au sujet de **l'adéquation fonctionnelle**. "Fonctionnelle" réfère à la "fonction" du système, c'est-à-dire ce que le système est en train de faire ou de produire, ce qu'un observateur jugerait comme étant le comportement du système. Et "adéquat" signifie simplement que le système est en train de faire "ce qu'on lui demande", d'avoir le "bon" comportement, jugé par un observateur ou par l'environnement. Donc l'"adéquation fonctionnelle" d'un système peut être vue comme le fonctionnement permettant d'avoir "le comportement approprié pour la tâche en cours".

Note 2 :

Au sujet du **milieu intérieur coopératif**. Un système possède un "milieu intérieur coopératif" lorsqu'il n'existe plus, en son sein, de "situations non coopératives".

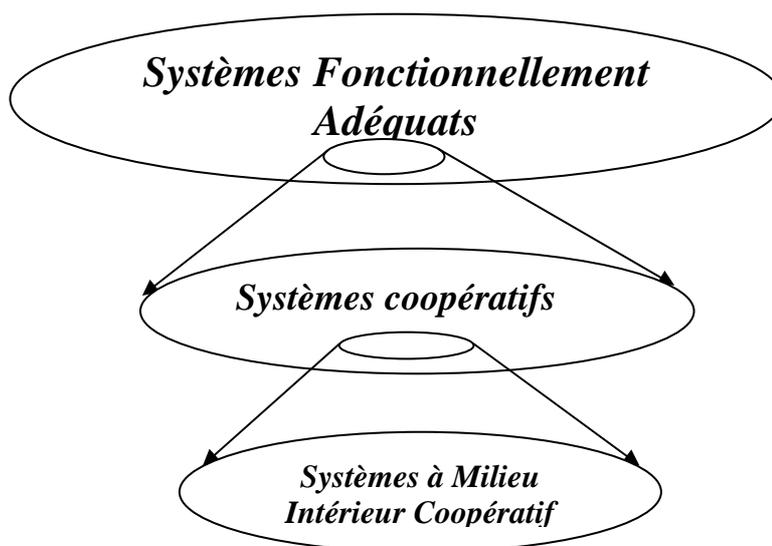


Figure 3.1 : Les systèmes à milieu intérieur coopératif sont des systèmes fonctionnellement adéquats.

3.6.1.2. Les composantes d'un agent AMAS

En elle-même, l'organisation qui émerge est une organisation observable non prédéfinie par le concepteur du système. Mais ce qui nous intéresse le plus c'est l'émergence de la fonction du système qui est produite par l'organisation entre les agents à un instant donné. Pour réaliser cela, les agents sont programmés pour être en situation coopérative avec les autres agents du système. Cela se traduit par le fait qu'à tout instant, un agent reçoit les informations pertinentes pour réaliser sa fonction et qu'il transmet des informations utiles à d'autres.

Un agent peut localement décider s'il est en situation coopérative. En effet, par rapport aux croyances qu'il a sur lui-même, il peut localement déterminer si ce qu'il reçoit est compréhensible et lui permet de réaliser une action. De la même manière, en fonction de ses perceptions, il pourra juger localement si ses actions ont été utiles. D'une manière générale, cinq parties sont indispensables à un agent coopératif pour qu'un comportement collectif cohérent puisse être observé à partir de l'agrégation de comportements individuels.

- **Les compétences** sont des connaissances d'un domaine particulier qui permettent à l'agent de réaliser la fonction partielle qui lui est assignée.
- **La représentation de lui-même**, des autres agents et de l'environnement confère à l'agent une croyance sur ce qu'il sait de lui-même, des autres et de son environnement. Les croyances peuvent être implicites ou explicites.
- **L'attitude sociale** appelée la coopération permet de définir des critères locaux qui vont permettre à l'agent de décider de son comportement et de se réorganiser avec les autres agents c'est-à-dire de modifier ses liens avec les autres agents. Elle est au cœur de la théorie.
- **Langage d'interaction** qui leur permet de communiquer soit directement par envoi de messages soit indirectement par l'environnement (voir la figure 3.2).
- **Les aptitudes** sont les capacités qu'un agent possède pour raisonner sur ses représentations et sa connaissance.

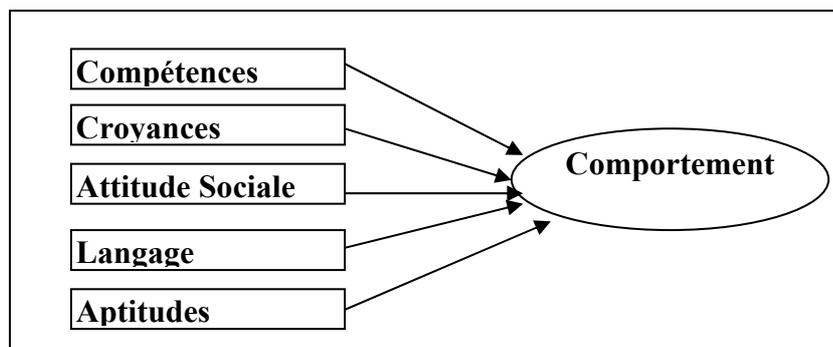


Figure 3.2 : Composantes d'un agent

3.6.1.3. Les Situations Non Coopératives (SNC)

L'organisation d'un système est décrite par les liens d'interaction entre agents, un agent autonome considère qu'il a trouvé la bonne place au sein de l'organisation s'il interagit coopérativement avec autrui ; dans le cas contraire, il agira pour chercher une place plus adaptée. A chaque instant son comportement coopératif (de son point de vue) est guidé par ses compétences et croyances courantes. Les conditions de non coopération conduisant au processus de réorganisation dérivent immédiatement de notre conception de la coopération idéale qui peut se définir alors par l'absence totale de situations de non coopération définies elles-mêmes par :

$$\text{NON COOPERATION} = \text{NC}_{\text{PERCEPTION}} \vee \text{NC}_{\text{DECISION}} \vee \text{NC}_{\text{ACTION}}$$

- **Non Coopération de Perception (NCperception):** Un signal perçu est incompris ou possède de multiples interprétations (ambiguïté). Dans ce cas, un agent coopératif ne va pas ignorer le signal car il le considère nécessaire à l'activité du système. Il va donc tenter de le transmettre à d'autres agents qu'il estime plus compétents ou bien se faire aider par autrui afin de lever les ambiguïtés.
- **Non Coopération de Décision (NCdecision) :** L'information reçue est déjà connue ou n'a aucune conséquence logique. L'agent coopératif ne peut pas tirer profit de cette information pour transformer le monde, il va donc chercher d'autres agents qui pourraient en bénéficier.
- **Non Coopération d'Action (NCaction) :** Compte tenu de ses croyances courantes, l'agent considère que la transformation de l'environnement qu'il peut opérer n'est pas bénéfique à autrui. Cette situation englobe les notions de conflit et de concurrence qui sont fréquemment étudiées dans le domaine. Par exemple, un conflit de résultat peut survenir si l'agent aboutit à une conclusion opposée à celle d'un autre. Une concurrence est détectée si l'agent aboutit à des conclusions identiques à celles d'un autre.

Quand le système est plongé dans un environnement dynamique, de nombreuses situations imprévues du point de vue local d'un agent peuvent survenir, compte tenu de la fonction qu'il sait réaliser. Cette notion d'imprévu est définie par rapport à la fonction habituelle de l'agent. Sa capacité à répondre à cette situation imprévue, reconnue comme une situation non coopérative à ce moment, peut être considérée comme un traitement d'exception en programmation classique. A ces moments-là, un observateur du système peut assister à un processus interne de recombinaison des fonctions partielles par la modification des relations entre les agents. Cette recombinaison amène une transformation de la fonction globale du système tendant à supprimer les situations imprévues. Ainsi, un agent réalise en permanence sa fonction partielle, mais il doit aussi agir simultanément sur l'organisation interne du système s'il détecte les situations non coopératives précédemment

énoncées. La conception d'un système multi-agent coopératif consiste ainsi en la définition, pour chaque composant - les agents - pris isolément, de tous les états non coopératifs et les activités associées pour les supprimer. Rappelons que, conformément aux conditions énoncées sur l'émergence, ces décisions sur la coopération sont locales aux agents et ne sont pas dictées par la connaissance de la fonction globale du système.

3.6.1.4. Adapter le système par ses parties

Spécifier un modèle a priori pour un système qui aura à faire face à des imprévus, c'est contraindre (peut être inopportunément) l'espace des possibles.

Un moyen d'apprendre pour un système S consiste à transformer sa fonction actuelle f_s de manière autonome (donc par auto-organisation) afin de s'adapter à l'environnement, considéré comme une contrainte qui lui est donnée (voir la Figure 3.3). Chaque partie P_i d'un système S réalise une fonction partielle f_{p_i} de la fonction globale f_s . f_s est le résultat de la combinaison -notée par l'opérateur "o"- des fonctions partielles f_{p_i} (les flèches dirigées vers le haut dans la Figure 3.3). La combinaison étant déterminée par l'organisation courante des parties, il s'ensuit que $f_s = f_{p_1} \circ f_{p_2} \circ \dots \circ f_{p_n}$. Comme généralement $f_{p_1} \circ f_{p_2} \neq f_{p_2} \circ f_{p_1}$, transformer l'organisation (les doubles flèches courbées dans la Figure 3.3) conduit à changer la combinaison des fonctions partielles et donc à modifier la fonction globale f_s , devenant par là même un moyen d'adapter le système à l'environnement.

Pour un système multi-agent, la mise en œuvre de cette adaptation implique que le concepteur ne s'intéresse qu'à l'agent (les entités produisant f_{p_i} dans la Figure 3.3) et lui donne les moyens de décider de manière autonome de changer ses liens avec les autres agents pour tendre vers une organisation coopérative. Ainsi, en fonction des interactions qu'a le système multi-agent avec son environnement (les doubles flèches extérieures au système dans la Figure 3.3), l'organisation entre ses agents émerge et constitue une réponse pour faire face aux imprévus.

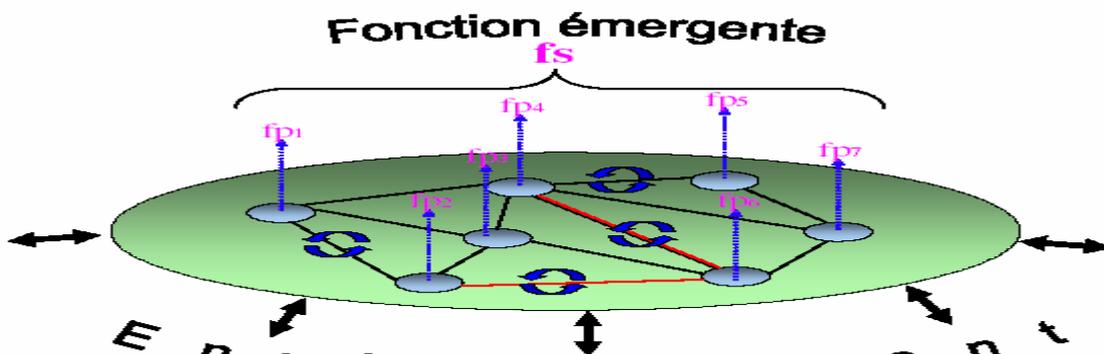


Figure 3.3 : Adaptation par auto-organisation d'un système en interaction dynamique

3.6.2. Modification des liens préférentiels

Dans ce type la structure organisationnelle d'un SMA est modélisée par les interactions potentielles liant les agents membres de la communauté, qui sont représentées au niveau de chaque agent par ses accointances ou connaissances sociales. Une accointance doit renseigner un agent sur son interlocuteur, la nature de la relation avec celui-ci (auditeur ou locuteur), les compétences motivant cette relation, et la préférence (attention ou confiance) accordée à l'interlocuteur. Les connaissances sociales permettent donc à un agent de choisir les interlocuteurs qui de son point de vue, sont les plus appropriés.

Foisel à proposer un modèle dans cette tendance tiré de [MAL, 1999], Les connaissances d'accointances sont représentées par différentes facettes qui définissent notamment les croyances de l'agent sur les compétences de l'autre agent en terme de types de tâches qu'il peut effectuer. La préférence permet à l'agent de privilégier certains interlocuteurs en leur accordant plus ou moins d'attention ou de confiance. Ces préférences sont représentées par des niveaux de priorité associés aux compétences de l'interlocuteur et représentent le point de vue de l'agent sur ses accointances.

Ce mécanisme est considéré comme étant un modèle de réorganisation du fait que les agents modifient leurs préférences, ici les liens de préférence sont perçus comme une structuration et donc une organisation du sma en sous-ensembles d'agents reliés par des liens préférentiels. Cette modification des relations préférentielles est effectuée grâce à une fonction de jugement locale, chaque agent modifie ses préférences selon son propre point de vue et en fonction des interactions qu'il entretient avec ses accointances. Les relations entre un agent et ses accointances sont renforcées si les interactions ont été bénéfiques, dans le cas contraire elles sont affaiblies.

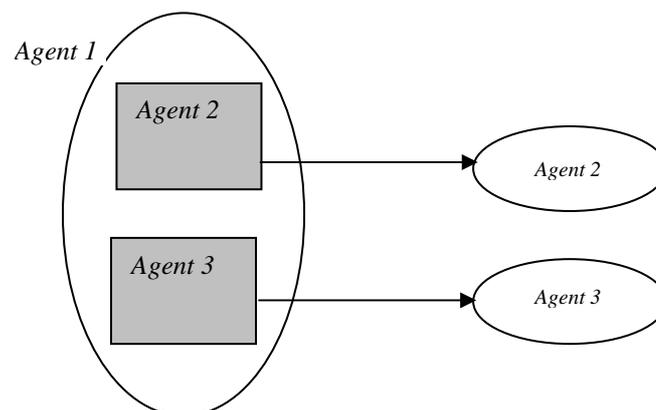


Figure 3.4 : les accointances d'un agent

Egalement le modèle proposé par [LEE, 1995] peut être classé dans ce cadre, ce modèle utilisé dans un contexte de courtage, le système est composé de deux plans logiques : un plan de services qui contient les clients et les fournisseurs, et un plan de courtage qui contient les courtiers. Les clients et les serveurs sont liés par des liens de services et les courtiers sont interconnectés par des liens de courtage (pondérés par des affinités) qui correspondent aux connaissances que les courtiers ont sur certains autres, leurs courtiers adjacents.

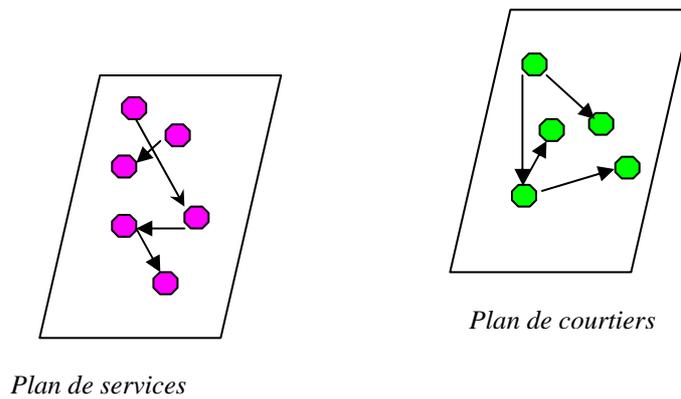


Figure 3.5 : plans services et courtiers

Le mécanisme de réorganisation existant dans ce modèle consiste l'action des agents courtiers à supprimer, ajouter ou réévaluer les liens de courtage de façon autonome. L'action d'un courtier repose sur l'affinité entre les courtiers. L'affinité est une évaluation de l'adéquation entre les intérêts d'un courtier et les services offerts par un autre, et peut évoluer en fonction de la réputation des courtiers qui dépend des interactions antérieures. L'affinité joue deux rôles dans ce modèle. Elle permet d'abord à un courtier de déterminer s'il doit garder ou supprimer des liens de courtage. Un lien est supprimé si son affinité est inférieure à un certain seuil. La suppression des liens dépend également du nombre de courtiers adjacents qu'un courtier peut connaître. Elle permet également à un courtier de déterminer quels sont les interlocuteurs qui, de son point de vue, sont les plus appropriés. Un processus d'exploration, similaire à celui de la relaxation restreinte et déclenché et périodiquement et sans aucune invocation, permet à un courtier de mettre à jour ses liens de courtage et de propager les modifications.

3.6.3. Répartition de la connaissance

Les travaux de *T. Ishida et son équipe*. Relevés de [MAL 1999] S'intéressent à l'auto-organisation d'un ensemble de résolveurs de problèmes qui produisent des solutions en réponse aux requêtes provenant de l'environnement. La connaissance du domaine est décrite en un ensemble de règles, ou productions, en revanche les données du domaine son représenter sous forme d'une base de données d'assertions. Certaines règles peuvent être dépendantes et même interférer. Les agents doivent donc dans certains cas, se synchroniser pour maintenir la cohérence des données.

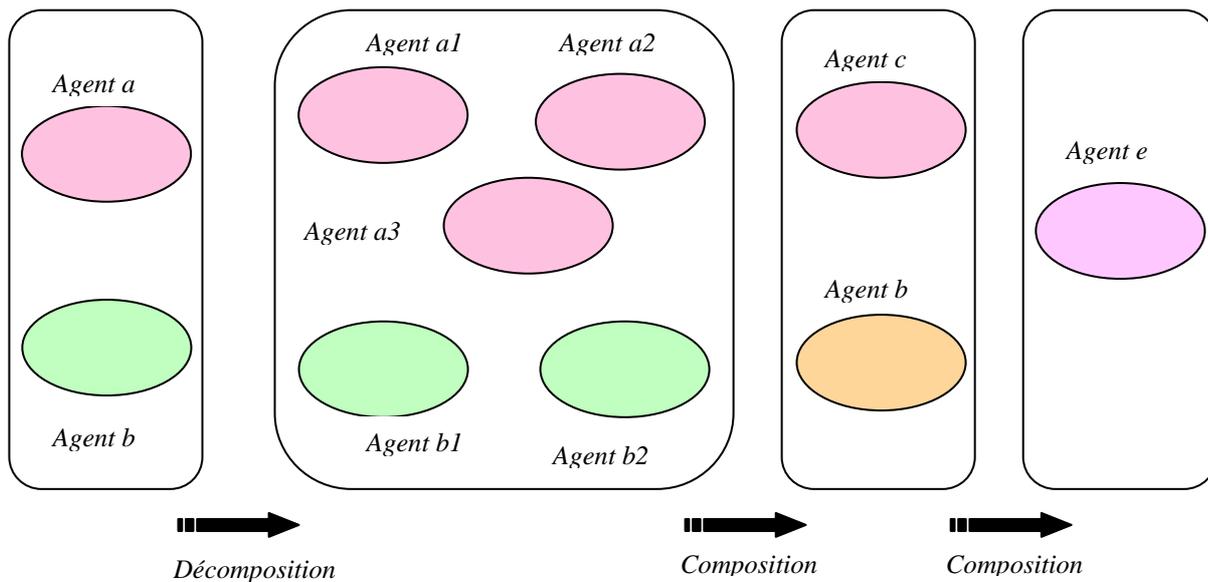


Figure 3.6 : séquence de décomposition composition d'agents

La réorganisation est réalisée à travers des décompositions et de compositions (figure 3.6) qui peuvent être appliquées de façon concurrente à différentes parties de l'organisation. La décomposition consiste à diviser un agent en deux permettant ainsi d'augmenter le parallélisme. Le système fait recours à des décompositions lorsque le nombre de requêtes est trop important pour que l'organisation puisse satisfaire les contraintes globales en utilisant les ressources dont elle dispose. A l'inverse, la composition consiste à fusionner deux agents ce qui diminue le parallélisme. Une composition permet d'une part, de diminuer le coût de résolution de problèmes en limitant la consommation de ressources (et en libérant ainsi des ressources). Elle permet également de réduire les temps de réponse en limitant les coûts de coordination (ex., synchronisation, communication). Une décomposition maximale augmente les coûts de communication, les temps de réponse étant accrus par les délais de communication supplémentaires. D'une manière générale, la décomposition augmente la consommation de ressources globale, alors qu'au contraire la composition la diminue.

Pour qu'un agent procède à une décomposition il évalue la situation courante, grâce à des informations locales et globales, Cette évaluation prend en considération d'une part l'activité de l'agent qui dépend du nombre de règles déclenchées dans une période de temps donnée. L'idée sous-jacente est qu'une demande excessive au niveau de l'organisation se traduit par des demandes locales excessives dans certaines parties de l'organisation. Lorsque l'activité d'un agent est de 1, l'agent est occupé ; Si elle est inférieure à 1, l'agent peut réaliser d'autres tâches. Par hypothèse, les agents ne connaissent l'activité d'aucun autre agent. L'évaluation tient compte d'autre part, du temps $T_{réponse}$ mis par l'organisation pour répondre à la dernière requête, et du temps maximum T_{limite} demandé pour réaliser la tâche. Ces informations globales sont fournies aux agents par des diffusions périodiques. Lorsque $T_{réponse} > T_{limite}$, l'organisation doit augmenter ses

performances par décomposition ; A l'inverse, lorsque $Tréponse < T$ limite, l'organisation peut libérer des ressources en procédant à des compositions.

3.6.4. Réorganisation physique : le modèle proposé par François

Bourdon [Bourdon, 1998]

F. Bourdon propose un modèle descriptif des interactions observables entre les composants du système, et de leurs évolutions dans le temps[MAL,1999]. L'espace relationnel est défini comme un graphe non nécessairement connexe, où chaque nœud est un composant du système, i.e. un représentant relationnel d'une entité réelle (ex., processus, serveur, objet) dont on veut caractériser le fonctionnement par observation de ses interactions dans le milieu (i.e. système), et où chaque lien pondéré matérialise les interactions passées et/ou en cours entre deux nœuds. Les paramètres attachés à chacun des liens quantifient dans le temps la nature des interactions entre les nœuds correspondants. L'objectif de ce modèle est de regrouper dans l'espace relationnel, les entités qui entretiennent entre elles un haut niveau d'interaction.

F. Bourdon montre comment un tel modèle peut influencer le comportement de chaque composant du système de telle sorte que globalement émergent des comportements collectifs souhaités *a priori* pour le système. Il consiste à mettre chaque entité du système en situation d'observateur de ses propres interactions avec les autres entités qu'elle perçoit. Le modèle d'interaction repose sur la détection de phénomènes stables (reproductibles dans le temps et dans l'espace). C'est donc un modèle descriptif, car il est basé sur une auto-observation continue du fonctionnement réel du système. Il est aussi préventif dans la mesure où il détecte les changements de tendances dans les interactions entre les composants du système et sert de guide pour une auto-organisation collective du système conformément à ces changements.

L'observation. L'application du modèle d'interaction repose sur des périodes d'observation pendant lesquelles le système fonctionne avec une organisation issue à la fois du résultat des périodes d'observation antérieures et de l'évolution du système lui-même. L'observation du système est réalisée selon trois composantes qui correspondent à trois points de vue complémentaires (figure 3.7) :

- la base qui est le point de vue global, et qui correspond à l'ensemble de l'espace relationnel ;
- les référentiels locaux qui constituent le point de vue local ou individuel. Chaque nœud (ex., ni) possède sa propre vision de la base au travers des liens, entrant (ex., les liens avec no, nq) ou sortant (ex., les liens avec nj, nk, nn), qu'il entretient directement avec les autres.

- les formes relationnelles qui sont les points de vue collectifs. Une forme relationnelle est un sous graphe connexe du graphe relationnel qui est activé sous l'impulsion d'excitations, et qui correspond à un ensemble de composants qui, sur une période donnée, interagissent de façon stable et homogène. Cette composante est nécessaire pour prendre en compte le fait que les composants du système interagissent de façon concurrente (i.e. certains nœuds sont activés simultanément), et que les excitations peuvent se propager (i.e. un nœud n_i active un nœud n_j qui va activer à son tour et consécutivement un autre nœud n_l). Les formes relationnelles sont fugitives ; elles émergent, apparaissent ou se transforment (ex., agrégation, séparation) au cours du temps. Elles représentent les entités collectives stables qui doivent soit être identifiées, soit émerger pour adapter le fonctionnement du système.

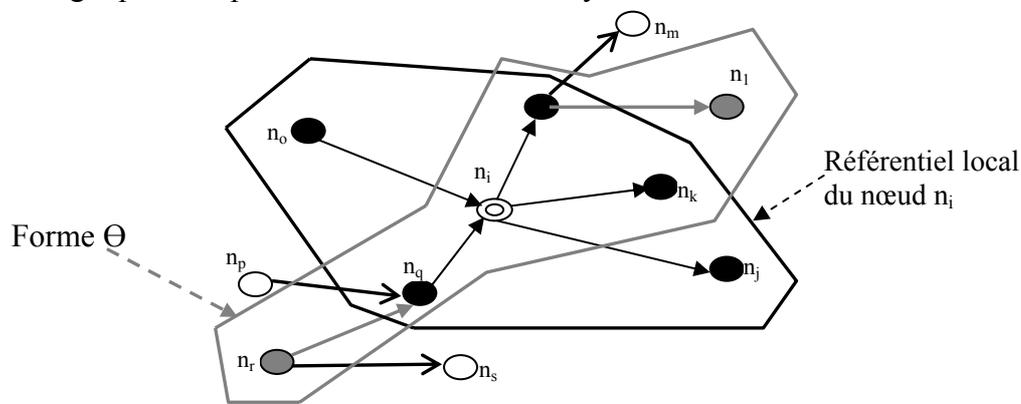


Figure 3.7 : Les trois points de vue [MAL, 1999].

Chacune de ces vues est caractérisée par un certain nombre de paramètres. Par exemple, un nœud est notamment caractérisé par sa masse relationnelle (i.e. une mesure instantanée de l'ensemble des interactions du nœud), la vitesse moyenne de contraction/dilatation d'un lien, qui renseigne sur la variation des interactions sur ce lien, ou encore la densité relationnelle, qui caractérise l'importance relative d'un lien par rapport aux autres. De la même façon, les formes et la base sont caractérisées par des paramètres (ex., la masse relationnelle) qui sont calculés dans certains cas à partir de paramètres des autres vues. Ceci permet de privilégier un des points de vue par rapport aux autres.

La paramétrisation. Le modèle est enrichi en introduisant par ailleurs des heuristiques permettant d'influencer le comportement des entités en interaction en modulant leur évolution relationnelle. Chaque lien de la base est soumis « simultanément » à deux forces (non nécessairement symétriques) qui dépendent de la configuration relationnelle du nœud et de son contexte relationnel (i.e. forme et base) :

- *le flux excitatoire* précise la façon dont croît le coefficient du lien : pour simplifier, plus un nœud active un autre nœud et plus le coefficient attaché au lien est grand ;

- *le flux entropique* qui à l'inverse, permet de diminuer périodiquement les valeurs des liens en fonction du contexte relationnel.

Exemple. L'originalité de ces travaux est de proposer un modèle indépendant du domaine applicatif. Par exemple, supposons que l'on se place dans le cadre d'un modèle client/serveur, où le but est d'optimiser l'utilisation par des clients de serveurs (figure 3.8) en déplaçant les serveurs en fonction du modèle des interactions observé. L'activation dans ce cas, correspond à l'émission d'une requête de service entre le client et un serveur. Lorsqu'un client (c_1) a une tâche à réaliser, il envoie une requête de service au serveur le plus proche (s_1). Lorsque ce serveur n'est pas en mesure de réaliser le service, il aiguille la requête vers un autre serveur (s_2), créant ainsi un lien d'interaction résiduel. L'intensité des liens qui relient les nœuds entre eux dépend de paramètres tels que la fréquence et/ou le volume des échanges. Le modèle de description permet aux serveurs de mettre en œuvre des heuristiques de placement pour garantir l'intégrité fonctionnelle (ex., la qualité de service) du système global. Dans l'exemple de la figure 3.8, le serveur s_2 s'aperçoit (au travers du lien résiduel) que le serveur s_1 ne peut satisfaire les besoins du client c_1 , et migre vers ce client. Le serveur s_1 , n'ayant plus de lien fort avec le client c_1 va se rapprocher des clients c_2 et c_3 .

Expérimentation. F. Bourdon [BOU, 1998] propose une expérimentation de son modèle par le biais de simulations. Les résultats obtenus montrent que le système converge vers un état d'équilibre caractérisé notamment par la satisfaction des besoins de tous les clients et la minimisation des liens d'interaction résiduels. Une perturbation (ex., ajout d'un client, modification des besoins d'un client), lorsqu'elle remet en cause l'intégrité fonctionnelle du système, engendre une réorganisation spatiale des serveurs permettant d'atteindre un nouvel état d'équilibre.

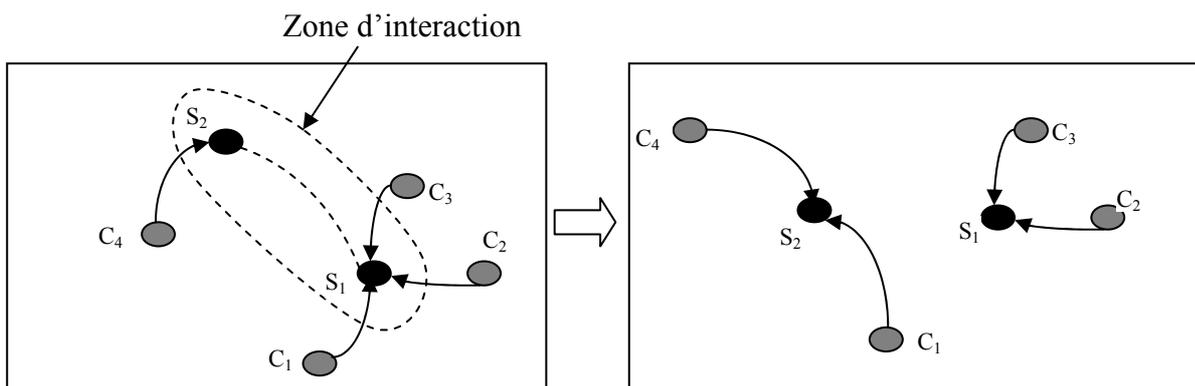


Figure 3.8 : Le modèle client / serveur [MAL, 1999]

P. Chatonnay dans sa thèse [CHA, 1998] applique ce modèle au placement dynamique d'objets. Il propose une architecture modulaire pour réaliser le placement. Un gestionnaire de charge assure la mise à jour des indicateurs de charge des différents sites. Un gestionnaire de relation gère le graphe relationnel et la mise à jour des liens à partir des débits de communication observés entre les objets.

Enfin, un gestionnaire de placement, à partir d'informations issues des deux premiers gestionnaires, prend les décisions de placement des objets (serveurs).

L'idée avancée est que le placement automatique des composants d'une application doit être dirigé par plusieurs critères, parmi lesquels on trouve la charge des processeurs du système réparti, les dépendances entre composants liées aux chemins d'invocation (modèle relationnelle) ou encore les contraintes liées aux applications (sécurité, disponibilité). Pour prendre des décisions de réorganisation, il utilise la théorie multi-critères et les méthodes d'agrégation associées.

Ces méthodes permettent, à partir d'un ensemble de critères qualifiant différents points de vue d'une situation, d'obtenir une recommandation permettant de choisir une action parmi un ensemble d'actions réalisables. L'action recommandée est celle qui maximise globalement la valeur de l'ensemble des critères. Résoudre un problème de cette nature consiste à trouver un compromis, si possible acceptable.

3.7. Classification des modèles de réorganisation

La classification des modèles de réorganisation peut se faire selon trois axes principaux donc chacune peut avoir plusieurs dimensions [SIA, 2005] :

- le premier axe concerne où situer la connaissance de l'organisation et de réorganisation,
- le second qui décide la réorganisation,
- le troisième comment se fait la réorganisation ? Sur quoi porte les modifications pour que le système se réorganise.

A ce la s'ajoute la réponse aux questions, quand se réorganiser qui dénote quand est que la réorganisation est nécessaire ? C'est-à-dire quelles sont les situations où les performances du SMA sont dégradées ? Ce qui conduit à répondre à la question comment identifier ces situations critiques ? Qui dénote l'observation supposée du système multi-agents conduisant aussi à répondre à la troisième question quels sont les points d'observation d'un SMA.

3.8. Bilan

D'une façon générale, l'objectif de la réorganisation est de permettre au système multi-agents de faire face à la dynamique et aux changements de son environnement pour préserver son intégrité fonctionnelle. C'est-à-dire pour garantir que le système peut remplir la fonction qui lui incombe avec une certaine qualité de service (temps de réponse, consommation de ressources réduite).

Les mécanismes de réorganisation présentés dans ce chapitre peuvent être classés en deux catégories : les mécanismes de réorganisation logique qui modifient la répartition des connaissances

(ex., les compétences, les liens d'interaction), et les mécanismes de réorganisation physique qui concernent la répartition géographique des agents. D'une façon générale, le placement et la duplication, de la connaissance dans le premier cas, et des agents dans le second. Le placement permet d'augmenter les temps de réponse et les coûts de communication en rapprochant l'information ou les agents vers les demandeurs en limitant le nombre d'intermédiaires ; quant à la duplication elle permet d'augmenter le parallélisme et la robustesse du système, mais nécessite en contrepartie des coûts de coordination et de maintien de la cohérence plus importants [MAL, 1996]. Dans la plupart des cas, un système ne pourra pas garantir toutes ces propriétés à la fois, mais pourra, par réorganisation, adopter un comportement qui sera contextuellement le « meilleur » (par rapport aux critères d'évaluation choisis).

Les différents niveaux d'observation du système par les agents dirigent leurs actions. Dans l'approche adoptée par C. Ünsal, les agents n'ont qu'une vue partielle de leur environnement, leurs actions qui sont régies par des règles globales parce qu'ils n'ont pas conscience des conséquences de leurs actions [SIA, 2005]. Au contraire, dans les autres approches, le comportement des agents n'est guidé que par leurs propres objectifs. Une visibilité plus large du système est donnée aux agents. Les décisions des agents s'appuient alors sur des informations à la fois locales et globales permettant de réduire les conflits.

Lors de la spécification d'un modèle d'organisation de système multi-agents qui s'adapte par réorganisation aux changements de son environnement les points suivants sont à prendre en compte [SIA, 2005] :

- Un modèle de réorganisation doit être stable pour mettre en évidence des structures. La stabilité d'une structure mesure sa constance dans le temps et dépend notamment de la force des perturbations nécessaires pour qu'elle soit modifiée.
- Assez sensible pour remettre en cause une organisation.
- Convergent pour aboutir à une nouvelle structure. La convergence mesure la capacité d'un système sans structure à créer des structures reconnues.
- Identification des points d'observation du système pour mesurer avec le plus possible de précision si une réorganisation est recommandée ou nécessaire.
- Eloigner la décision de réorganisation de la centralisation au niveau d'un seul agent superviseur puisque celui-ci devient le point de défaillance du système en cas de sa défaillance et rendre cette décision plus ou moins distribuée sur un ensemble d'agents.
- Prendre un point de vue centré organisation pour décrire l'organisation du SMA, facilitant ainsi l'évaluation de l'organisation chose souhaitable pour la réorganisation.

- L'évaluation du processus de réorganisation lui-même (temps et ressource) nécessaire pour aboutir à une organisation est à prendre en considération.
- La réorganisation prend en considération l'aspect statique du SMA et son aspect dynamique, structure et fonctionnement.
- Assurer une cohérence entre les trois dimensions : situation de la connaissance organisationnelle et celle de réorganisation, niveaux de décision de réorganisation et les modifications à faire dans l'organisation pour une réorganisation.
- Le processus de réorganisation doit être souple, c'est-à-dire passer d'une organisation à une autre sans aucune perturbation du fonctionnement du système.

3.9. Conclusion

Dans le cadre des systèmes multi-agents, la question centrale est de savoir comment résoudre des problèmes dans des environnements dynamiques où les agents n'en ont qu'une représentation partielle [GLE, 2004]. Il faut donner au système des capacités d'adaptation pour lui permettre de faire face à des imprévus.

Nous avons abordé le problème de réorganisation dans les systèmes multi-agents comme un moyen d'adaptation. La plupart de travaux présentés dans ce chapitre sont des mécanismes de réorganisation traitent seulement comment se réorganiser, dans le dernier chapitre nous allons intéresser à la proposition d'un modèle de réorganisation de société d'agents autonomes. Les idées à proposer s'inscrivent dans un effort de présentation d'une architecture générique d'agent d'autonome de réorganisation.

Proposition d'un modèle de réorganisation d'agents autonomes basé sur l'utilité

4.1 Introduction

Un système qui fonctionne dans un environnement ouvert doit pouvoir réagir aux événements imprévisibles. Puisque l'environnement a son propre comportement, un système ne peut pas être énuméré exhaustivement toutes les situations de l'environnement. Par conséquent, le système doit être adaptatif pour tenir compte de ceci dynamique. Il doit ajuster son comportement sur son environnement dynamique afin d'être fonctionnellement proportionné [GAU, 2006].

L'objectif de notre travail est la proposition d'une approche préventive basée sur l'autonomie de l'agent. Cette approche permettra de concevoir des systèmes multi-agent se réorganisant de manière automatique afin de s'adapter à l'évolution de l'environnement.

Dans modèle à proposer, nous considérons l'agent comme une entité possédant des capacités d'évaluation et de décision de réorganisation, sans intervention des agents spécialisés comme un coordinateur ou toute intervention externe. Nous essayons de répondre aux questions principales liées à la réorganisation. Ces questions sont :

- Quand réorganiser ? « comment détecter un besoin de réorganisation »
- Qui décide la réorganisation ? « décider de prendre des actions de réorganisation »
- comment se fait la réorganisation ? « mettre en œuvre les décisions »

Dans ce chapitre, nous présentons les concepts de base introduit dans modèle proposé tels que l'utilité, le seuil de réorganisation, la table d'attribution Rôle-Agent et la table d'accointances. Ce chapitre est organisé de manière suivante. La deuxième section présente les concepts de base du modèle. Dans la troisième section nous montrons l'architecture de l'agent autonome. L'architecture est conçue de manière à supporté la réorganisation du système multi-agent. Nous expliquons ainsi que les différentes stratégies de réorganisation adoptés. Nous terminons le chapitre par citer les propriétés de l'approche en se basant sur les axes de réorganisation.

4.2 Concepts de base

Dans cette section, nous présentons les concepts d'organisation sur lesquels s'appuie notre modèle. Certains concepts sont inspirés du modèle YAMAM [MAR, 2001].

4.2.1 Agent

Il n'y a pas a priori sur ce qu'est un agent. Il reste à un niveau de description conceptuelle, une entité plus ou moins autonome et communicante plongée dans un environnement implicite ou explicite. Un agent générique est construit sur le principe suivant : un agent possède un certain ensemble de compétences.

Un agent $a \in A$ est donc partiellement défini par : $a = \langle C, \dots \rangle$.

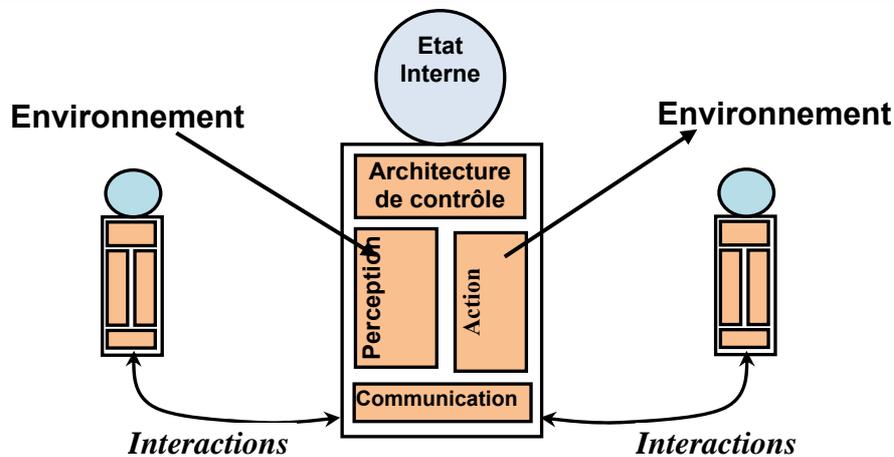


Figure 4.1 : Modèle d'agent générique [GUT,2001]

4.2.2 Rôle

Un rôle peut représenter un service, une fonction ou une forme d'identification d'un agent. Un agent prend en charge un ou plusieurs rôles. Un rôle repose sur une liste de tâches à accomplir séquentiellement, parallèlement, avec ou sans répétition. Un rôle implique donc la tenue d'une ou plusieurs tâches. Un agent peut tenir un rôle s'il sait exécuter toutes les tâches impliquées dans le rôle et donc s'il possède les compétences nécessaires pour cela. Un rôle implique souvent la planification de plusieurs tâches. Pour cela, un agent doit posséder une compétence de planification de tâches.

Un rôle $r \in R$ est défini par : $r = \langle T, REL \rangle$ avec :

- T : est la liste de tâches $\langle t_1, t_2, \dots, t_n \rangle$
- REL : est l'ensemble de rôles qui sont en relation de dépendance de tâche

avec le rôle r , $REL = \{(r, r_i) / r_j \in R \text{ } r_i \text{ en relation avec le rôle } r\}$

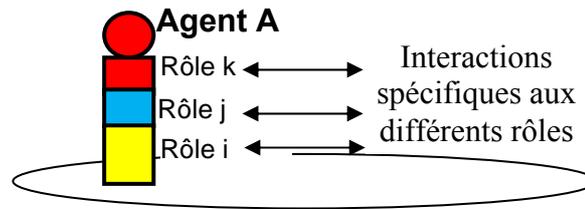


Figure 4.2 : Le principe du rôle

4.2.3 Tâches

Une tâche peut être l'exploitation d'une compétence (savoir) ou peut être une action qui nécessite une ou plusieurs compétences pour sa réalisation (savoir-faire). Un agent devra donc posséder sinon acquérir les compétences nécessaires à la réalisation d'une tâche pour tenir un rôle. Une tâche pouvant dépendre du résultat d'une autre tâche, un agent doit donc organiser lui-même la réalisation de ses tâches. Cette compétence sera nécessaire au niveau de la tenue du rôle.

Une tâche $t \in T$ est définie par $t < cr_1, cr_2, \dots, cr_n >$, $cr_i \in Cr$, où Cr est l'ensemble des compétences qu'un agent doit posséder pour pouvoir exécuter la

4.2.4 Compétence

Une compétence est une unité de connaissance nécessaire à la réalisation d'une tâche donnée. Le concept de compétence doit être vu au même niveau organisationnel que le rôle ou les tâches car on ne peut représenter le rôle sans la notion de compétence. C'est à la fois un savoir et un savoir-faire. Un agent peut agréger plusieurs compétences pour réaliser l'ensemble des tâches prévu pour tenir un rôle. Il y a évidemment plusieurs niveaux d'abstraction car une compétence d'un niveau n peut être l'agrégation de plusieurs compétences de niveau $n-1$. Une compétence dite « atomique » pourrait être la faculté d'additionner $1+1$ ou la faculté de bouger un membre de son corps.

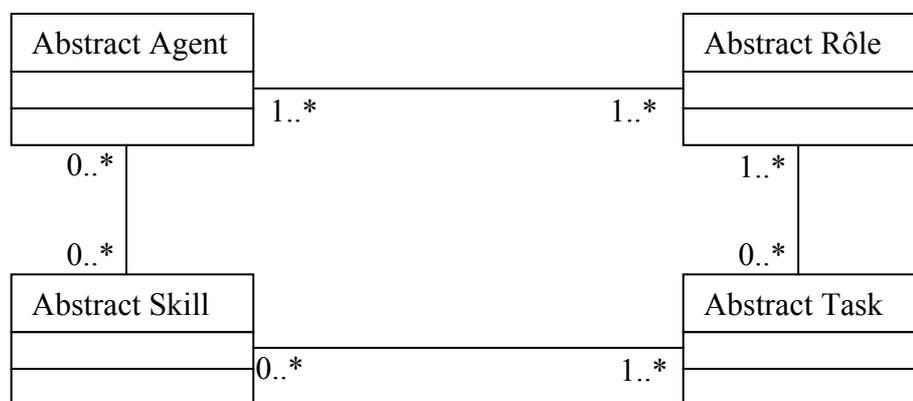


Figure 4.3 : Modélisation UML des notions d'agent, de tâche, de rôle et de compétence [MAR, 2001]

Une compétence de plus haut niveau pourrait être de savoir réaliser toute forme d'addition ou de déplacer tout son corps en actionnant ses membres de façon synchronisée. Une compétence de plus haut niveau encore serait de tenir une comptabilité entière ou de réaliser une chorégraphie. L'intrication entre rôle et compétence est non triviale car l'enrichissement de la compétence a une répercussion sur le rôle.

Nous présenterons dans ce qui suit nos différents nouveaux concepts de réorganisation : l'utilité, le seuil de réorganisation, la table d'attribution Rôle-Agent et la table d'acointances.

4.2.5 Utilité

L'utilité est une mesure du bien-être ou de la satisfaction obtenue par le succès de l'organisation dans la réalisation de la fonction pour laquelle elle a été conçue (au niveau globale). Au niveau local l'utilité est définie par le succès de l'agent à atteindre son but grâce à l'attribution d'un rôle quelconque ainsi que le succès de chaque relation de dépendance de tâche afin de participer dans la réalisation du but de l'agent. Nous ne pouvons pas la donner une définition spécifique puisqu'elle dépend du domaine d'application et du paradigme choisi.

En distingue quatre types d'utilité :

- *l'utilité d'attribution d'un rôle par l'agent UAR : est le succès de l'agent a de jouer le rôle r pour atteindre son but UAR (a : agent, r : rôle)*
- *L'utilité d'une relation URA (a : agent, av : agent voisin) : est le succès de relation de dépendance de tâche afin de participer dans la réalisation du but de l'agent.*
- *Une utilité d'organisation $Uorg$ ($URA_1, URA_2, \dots, URA_n, UAR_1, UAR_2, \dots, UAR_n$) :*
Où la fonction d'utilité d'organisation globale ' $Uorg$ ' dépend de toutes les utilités d'attributions et des relations.
- *Le profit G d'un agent : c'est le revenu ou le gagne de la*

4.2.6 Seuil de la réorganisation

C'est un facteur de réorganisation statique ou dynamique qui est défini par le concepteur . Lorsque l'utilité est diminuée au niveau de seuil de la réorganisation alors il faut faire une décision de réorganisation. Ce concept permet de concevoir un modèle de réorganisation préventif.

Selon les types d'utilité définit précédemment on distingue quatre types de seuils de réorganisation :

- seuil de réorganisation de l'utilité de l'organisation **SUorg** est défini par le concepteur ou déduit par l'organisation des agents qui composent le système ;
- Seuil de réorganisation de l'utilité de l'attribution **SUAR** est défini par l'agent lui-même ;
- Seuil de réorganisation de l'utilité de relation **SURA** est défini par l'agent lui-même ;
- Seuil de réorganisation par apport au profit de l'agent **Sg**

4.2.7 Table d'attribution Rôle-Agent

L'attribution des rôles par les agents est faite grâce à un mécanisme d'allocation des rôles. Dans notre travail, nous nous n'intéresserons pas au mécanisme d'attribution (c.-à-d. comment fait l'attribution), mais nous nous intéressons au résultat obtenu après avoir alloué les rôles. Ce résultat sera représenté sous la forme d'une table appelé *table d'attribution Rôle-Agent*.

Table d'attribution Rôle-Agent : la table d'Attribution Rôle-Agent **TRA** est définie par le triple $\langle r, a, UAR \rangle$, avec :

- **r** : le rôle qui est attribué par l'agent **a** ;
- **UAR(r, a)** : le succès de l'agent **a** de jouer le rôle **r**,

Rôle	Agent attribué	Utilité d'attribution
r_1	a_1	$UAR(r_1, a_1)$
.....
r_i	a_i	$UAR(r_i, a_i)$

Tableau 4.1 : Table d'attribution Rôle-Agent

4.2.8 Table d'accointances

Les accointances d'un agent sont les agents avec lesquels il peut communiquer.

Le lien entre accointance et relation de l'organisation est le suivant : un agent A peut être en accointance avec un agent A' si et seulement si A et A' s'il existe au moins une relation entre un des rôles joués par A et un des rôles joués par A' [AMI, 2003].

Le réseau d'accointances se présente sous la forme d'un tableau dynamique mémorisant les adresses des agents du réseau ainsi que leurs utilités de relations avec l'agent. Il est possible d'ajouter ou de retirer des agents de ce tableau comme dans un simple carnet d'adresse. Un agent va ajouter un autre agent dans son carnet d'adresse lorsqu'il possède des choses en commun avec lui. On va plus facilement demander des services à des agents possédant des rôles similaires puisque ceux-ci possèdent des compétences proches des nôtres. L'intérêt des accointances est de minimiser la fonction énergie pour la recherche d'agents travaillant dans le même domaine.

La table d'accointance **TA** de l'agent **a** est définie par le triple : **TA** <**av** : un identifiant de l'agent voisin, **Rv** : le rôle assumé par l'agent voisin qui est en relation avec le rôle assumé par l'agent **a**, **URA** : c'est l'utilité de relation d'un agent voisin **av** de l'agent **a**>

Agents voisins	Rôles des agents voisins	Utilités des relations
av ₁	rv ₁	URA (a, av ₁)
.....
av _i	rv _i	URA (a, av _i)

Tableau 4.2 : Table d'accointances de l'agent a.

Exemple

Le *Contract Net* (figure 4.7) contient deux descriptions de rôles : le rôle initiateur et le rôle participant ; dans une instanciation donnée de cette organisation, il ne peut y avoir qu'un seul initiateur, mais bien sûr plusieurs participants, chacun d'entre eux étant possiblement reliée à l'initiateur par une accointance.

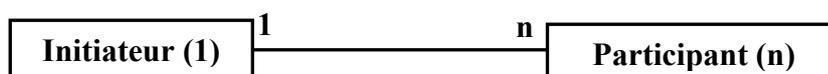


Figure 4.4 : Une organisation pour le Contract Net.

4.3 Architecture de l'agent autonome

Dans notre modèle l'agent autonome comprend les quatre modules suivants : le module d'évaluation et de décision, le module de réorganisation, le module d'exécution du rôle, et le module communication. Nous nous intéressons beaucoup plus aux deux modules concernés par la réorganisation : l'évaluation de l'utilité et la prise de décision de réorganisation, ainsi que la mise en œuvre de réorganisation.

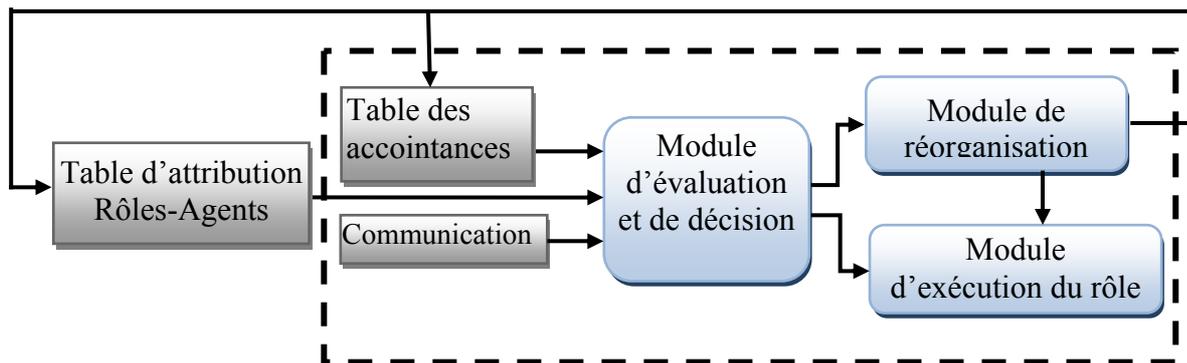


Figure 4.5 : Architecture de l'agent autonome

4.3.1 Module de réorganisation

Ce module est doté d'une bibliothèque des stratégies et des procédures de réorganisation implémentant des mécanismes de réorganisation. La réorganisation s'appuie sur deux actions, à savoir :

- Changement d'attribution de rôle ;
- Possibilité d'abandonner ou d'entrer d'un agent au système ;

L'avantage de notre architecture est que la possibilité d'adapter et d'intégrer plusieurs mécanismes de réorganisations existants.

4.3.1.1 Procédure de changement d'attribution d'un rôle entre deux agents

Soient ai un Agent, Rch le rôle à changer et Rd le rôle désiré. La procédure de changement d'attribution d'un rôle entre deux agents s'appuie sur les deux procédures suivantes :

- l'agent cherche dans la table des rôles les agents qui assument le rôle désiré

Rechercher (Rd : le rôle désiré)

Début

Tantque not endof (Table d'attribution *Rôle-Agent*) **faire**

Si *TRA.Role= Rd* **alors**

Ajouter l'agent à l'ensemble *ARd* d'agents qui assument le rôle désiré

fin

FinTq

fin

- l'agent diffuse une demande de changement d'attribution de rôle à l'ensemble *ARd* d'agents qui assument le rôle désiré.

Diffuser une demande de changement d'attribution (Rch, Rd) :

1) **Tantque not endof** (*ARd*) **faire**

Prendre un agent *aj* de l'ensemble *ARd*

Si *aj* appartient à son table d'accointance **alors**

- **Dem_Chang_att_direct** (*ai*, *Rch*, *Rd*) : l'agent *ai* envoie un message pour demander de changement d'attribution de rôle à *aj*
- Supprimer *aj* de l'ensemble *ARd* d'agents assument le rôle désiré ;

FinTq

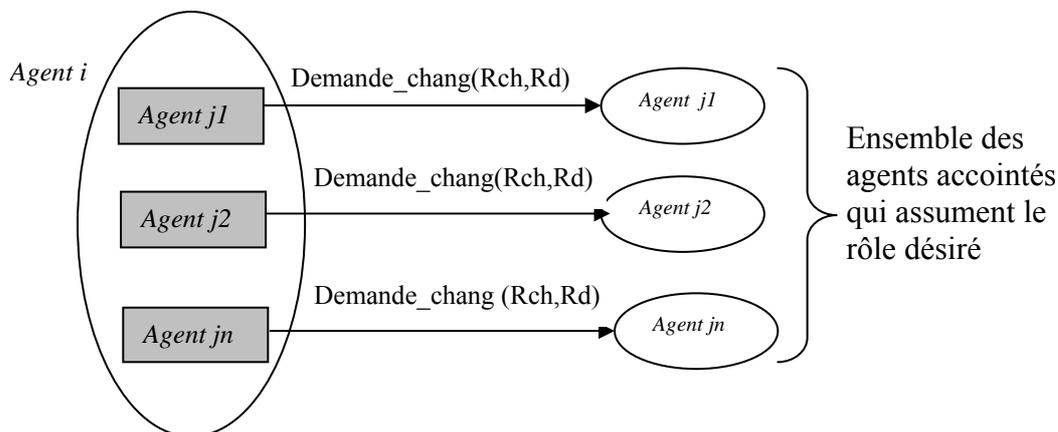


Figure 4.6 : Demande de changement d'attribution directe avec les agents voisins qui assument le rôle désiré

- 2) l'agent *ai* diffuse une demande de changement d'attribution à tous les agents appartenant à son table d'accointance **dem_chang_indirect** (*ai*, *Rch*, *Rd*, *ARd*) où *ai* : agent qui veut changer son rôle, *Rch* : rôle à changer, *Rd* : rôle désiré, *ARd* : contient l'agent assumant le rôle désiré et n'appartient pas au table d'accointance de l'agent *ai*

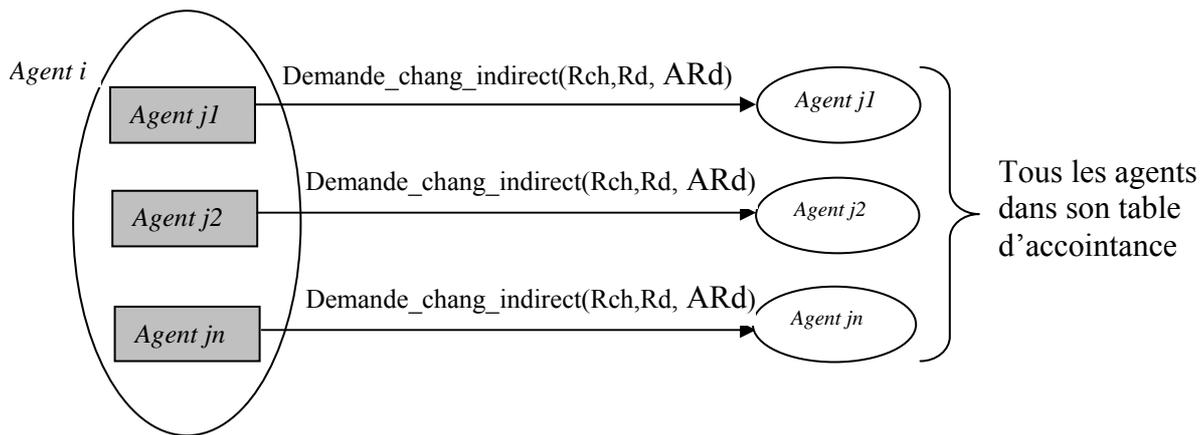


Figure 4.7 : Demande des agents voisins de chercher des autres agents assumant le rôle désiré.

3) chaque agent voisin recevant un message **Dem_Chang_indirect** depuis l'agent **ai** doit répéter les deux étapes (1 et 2) de la procédure de recherche et ainsi de suite.

- Chaque agent évalue la demande de changement d'attribution de l'agent **ai**. cette évaluation se fait au niveau du module d'évaluation :

Si l'agent capable d'attribuer le rôle de l'agent **ai** **et** $UAR(a : \text{agent}, Rd : \text{rôle désiré}) \leq SUAR$ **et** $Uorg \leq SUorg$ **alors** l'agent accepte la demande avec deux possibilités de réponse :

- ✓ *Acceptation sans contrainte* : envoie un message simple **Accepter (Rch, Rd)**. c'est une réponse positive à la demande de changement de rôle ;
- ✓ *Acceptation avec un ensemble de contraintes* : envoie un message complexe **Accepter_cont (Rch, Rd, Cont : ensemble de contraintes)**. c'est une réponse positive à la demande de changement de rôle mais avec des contraintes exigés par l'agent possédant le rôle désiré. Par exemple, l'agent accepte le changement si l'agent demandeur satisfait la contrainte suivante : «il doit accepter de changer avec lui d'autres rôles»

Sinon l'agent envoie un message de refuse **Refuser (Rch, Rd)**. C'est une réponse négative à la demande de changement de rôles (rôle désiré, rôle à changer) ;

- **Sélection** : après la réception de tous les messages de réponses des agents voulant faire le changement d'attribution, l'agent **ai** sélectionne l'agent le plus pertinent.
- **Accord** : dans cette étape les deux agents souhaitant le changement d'attribution de rôles font les mises à jour suivantes :
 - a) **Mise à jour de la table d'attribution rôle-agent** : les deux agents font une modification dans cette table d'attribution par la permutation de leurs rôles entre eux ;
 - b) **Mise à jour de la table d'acoitances** :
 - Chaque agent qui a changé un rôle doit envoyer sa liste d'agents voisins en rapport avec le rôle changé à l'autre agent et supprimer ensuite cette liste de sa table d'acoitances.
 - Chaque agent assumant un nouveau rôle doit ajouter une nouvelle liste d'agents voisins qu'il l'a reçu depuis l'autre agent.

4.3.1.2 Procédure d'abandon d'un agent

Soient *ai* un Agent, *Ra* : l'ensemble de rôles assumés. La procédure d'abandonnement d'un agent se déclenche si le profit de l'agent se diminue de seuil de réorganisation, or $g(ai) \leq Sg$. Ainsi, l'agent décide d'abandonner l'organisation, d'une manière coopérative, selon le processus suivant :

- Informer tout les agents qui sont en relation d'acoitance avec lui
informer_Abondon (ai : l'agent abandonnant)
- Modifier la table des rôles par l'agent abandonnant :
Tantque not endof (table d'attribution Rôle-Agent) **faire**
 Si TAR[i].Rôle = rôle attribué par l'agent **ai** **alors**
 Supprimer l'agent **ai** de l'ensemble d'agents attribuant ce rôle ;
FinTq.

- chaque agent informé doit supprimer l'agent informant (abandonnant) de son table d'accointance, et rechercher (dans le table d'attribution Rôle-Agent) des agents qui assument les rôles de l'agent abandonné ;
- L'agent informé ajoute les agents sélectionnés dans son table d'accointance et crée des nouvelles relations de dépendances avec eux ;
- Si aucun agent se trouve prêt à jouer le rôle de l'agent abandonnant, on décompose le rôle **ri** en un ensemble de rôles **ri1, ri2,..., rin** et les attribue sur les agents informés. Cette décomposition est basée sur le concept de compétence et se réalise par une méthode de décomposition et d'attribution comme par exemple l'allocation distribuée des tâches par réseau d'accointances [FER, 1995].
- Les nouveaux rôles, obtenus par décomposition, doivent être ajoutés avec les agents qu'ils assument dans la table de rôles ;
- Chaque agent attribuant un nouveau rôle doit mettre à jour la table d'accointances en ajoutant ses nouveaux agents voisins en rapport avec ce nouveau rôle. Ainsi, chacun de ces agents voisins doit ajouter l'agent attribuant le nouveau rôle à sa table d'accointances ;
- Si la décomposition est impossible les agents informés demandent d'un agent externe de rentrer à l'organisation pour jouer le rôle de l'agent abandonné.

4.3.1.3 Procédure d'entrer d'un agent

Soient ai un Agent, Ra : l'ensemble de rôles assumés. Cette procédure permet d'accepter l'entrer d'un agent ai à l'organisation si cela mène à augmentation de l'utilité de l'organisation. Si c'est le cas, on fait les modifications suivantes.

- Faire une mise à jour dans la table d'attribution Rôle-Agent «ajouter l'agent **ai** à l'ensemble d'agents qui assument les mêmes rôles joués par lui ;
- Créer sa table d'accointance. Ainsi, chaque agent de ses voisins doit l'ajouter à sa la table d'accointance.

4.3.2 Module d'évaluation et de décision

Ce module est capable d'évaluer les rôles et les interactions qu'il accomplit l'agent. Il est ainsi que doté des moyens permettant de décider la réorganisation ou non. En plus, ce module sélectionne

l'algorithme de réorganisation le plus approprié s'il y a lieu un besoin de réorganisation. On distingue dans ce module deux composants :

4.3.2.1 Composant de décision

Le composant de décision est le responsable de la sélection d'une stratégie de réorganisation la plus appropriée à un moment donné, en se basant sur le critère de l'utilité. Nous distinguons huit stratégies différentes. Elles sont définies dans la table suivante :

	Uorg <= SUorg		Uorg > SUorg	
	UAR<=SUAR	UAR>SUAR	UAR<=SUAR	UAR>SUAR
URA<=SURA	Stratégie1	Stratégie2	Stratégie3	Stratégie4
URA>SURA	Stratégie5	Stratégie6	Stratégie7	Stratégie8

Tableau 4.3 : Table de décision d'un agent.

- **Stratégie1 (Uorg <= SUorg, UAR<=SUAR, URA<=SURA)** : dans le cas où l'utilité de l'organisation est diminuée par rapport au seuil de réorganisation, l'agent doit faire un changement : Changer ou demander de redéfinir son rôle et changer la relation avec ses agents voisins en même temps ;
- **Stratégie2 (Uorg <= SUorg, UAR<=SUAR, URA>SURA)** : Cette stratégie consiste alors à changer l'attribution de rôle ;
- **Stratégie3 (Uorg <= SUorg, UAR>SUAR, URA<=SURA)** : Cette stratégie consiste à changer la relation avec les agents voisins ;
- **Stratégie4 (Uorg <= SUorg, UAR>SUAR, URA>SURA)** : Cette stratégie consiste à proposer ou accepter une demande d'aide à partir des autres agents pour augmenter l'utilité de l'organisation ;
- **Stratégie5 (Uorg > SUorg, UAR<=SUAR, URA<=SURA)** : dans ce cas l'agent est libre de changer son rôle ou non ainsi que la relation avec une à condition que ce changement n'implique pas la diminution de l'utilité de l'organisation ;
- **Stratégie6 (Uorg > SUorg, UAR<=SUAR, URA>SURA)** : De la même manière de la stratégie 5, l'agent décide de changer son rôle en respectant la contrainte de l'utilité de l'organisation ;

- **Stratégie7** ($U_{org} > SU_{org}$, $U_{AR} > SU_{AR}$, $U_{RA} \leq S_{URA}$) : dans cette stratégie, l'agent décide de changer la relation en respectant la contrainte de l'utilité de l'organisation ;
- **Stratégie8** ($U_{org} > SU_{org}$, $U_{AR} > SU_{AR}$, $U_{RA} > S_{URA}$) : tant que l'utilité de l'organisation, l'utilité de l'attribution de rôle, et l'utilité de la relation sont supérieur aux seuils de réorganisation, l'agent continue de réaliser son rôle joué sans aucun changement ;

4.3.2.2 Le composant d'évaluation

Ce composant est le responsable de calcul de l'utilité d'exécution de rôles, l'utilité de relation avec les voisins, ainsi que le calcul de profit des agents lorsqu'ils participent à l'organisation. Nous définissons certaines fonctions d'évaluation :

1) Fonction d'évaluation de l'exécution de rôle par l'agent (ai : agent, ri : rôle) :

cette fonction calcule l'utilité de l'agent qui est définie par le succès de l'agent lorsqu'il joue le rôle ri selon différents critères mesurés en point de vue de l'agent qui dépendent du domaine d'application étudié.

Exemple. Dans un système de gestion de production chaque agent définit le succès de son point de vue :

- **Agent : 'machine' peut jouer le rôle « production »** chaque machine joue le rôle de production d'un produit définit son utilité par la charge d'utilisation :
Si la charge de machine est petite **alors** l'utilité de la machine s'augmente
Sinon l'utilité se diminue ;
Le seuil de réorganisation : l'utilisation de la machine = 95%
- **Agent : 'machine' qui joue le rôle de transport de pièces** l'utilité peut être définie par le nombre '**nbr**' de pièces transportés par une unité de temps ;

2) Fonction d'évaluation de la relation avec les autres agents

Pour évaluer une relation nous proposons d'utiliser la méthode d'évaluation d'interaction avec les voisins de Foisel [FOI, 1998] :

Elle s'effectue selon différents critères correspondants aux différents points de vue que l'agent peut avoir sur la relation : qualité de la réponse fournie, coût de cette réponse, etc. Ces critères sont mesurés en fonction des actions et du résultat de ces actions qui sont entreprises pendant l'interaction. Chaque agent mesure ses propres critères vis à vis d'une interaction et les évalue selon son point de vue à la fin de celle-ci.

Cette évaluation permet à l'agent d'estimer la qualité d'une interaction en fonction d'un vecteur de critères mesurables appelé C et fixé a priori pour chaque type d'interaction en fonction des protocoles. Les valeurs associées à ces critères sont obtenues à partir des messages reçus pendant les échanges du protocole d'interaction. Plus précisément, ils peuvent être liés à l'arrivée d'un message.

La qualité de l'interaction (dénotée $Q(C)$) est une fonction qui combine ces différents critères pour fournir un réel appartenant à l'intervalle $[0, 1]$ et mesurant une distance qui se réfère à un idéal et par rapport auquel la distance sera jugée proche ou non. Cette fonction de qualité est utilisée par les agents pour mettre à jour leur point de vue sur la qualification de l'interaction qu'ils ont utilisés.

Exemple

- l'utilité de relation d'acointance de fournisseur avec ses clients est définie par le nombre de produit demandé par chaque client dans un intervalle du temps.
- L'utilité de la relation de consommateur avec l'entreprise dépend du prix et de la qualité des produits proposés par l'entreprise **UAR (Prix_produit, Qual_produit)**.

4.3.3 Module de communication

Ce module prend en charge tout le processus de communication avec les autres agents, il permet la formulation des messages suivant le langage de communication adopté. Aussi, il tient le rôle de traducteur de messages reçus des différents agents durant l'accomplissement de la fonction globale ou dans la nécessité de réorganisation comme par exemple dans le processus de changement d'attribution de rôle expliqué dans la section précédente.

Plusieurs mécanismes de communication sont possibles : échange et envoie de messages, invocation des méthodes ou bien l'utilisation d'un blackboard. En conséquent, des langages de communication inter-agents standardisés devront être fournis.

Le langage KQML (Knowledge Query and Manipulation Langage) [FER, 1997] a été proposé pour supporter la communication inter-agent. Ce langage définit un ensemble de type de message (appelés performatifs) et des règles qui définissent les comportements suggérés pour les agents qui reçoivent ces messages. Ce langage a été développé de façon ad-hoc pour les besoins des développeurs d'agents logiciels.

Le langage ACL (Agent Communication Langage) [FIPA, 1996], successeur de KQML, fourni une sémantique plus riche. Ce langage est fondé par la FIPA qui s'occupe de standardiser les

communications entre agents. ACL est basé également sur la théorie des langages et se rapproche au niveau des actes du langage avec KQML, mais pas au niveau de la sémantique, qui a subis une amélioration dans ACL.

Dans notre approche, nous proposons d'utiliser les langages de communication basés sur la théorie d'acte de langage pour formuler les messages de réorganisation échangés entre les différents agents de l'organisation.

4.3.4 Module de l'exécution de rôles

Ce module est le responsable d'accomplir et d'exécuter toutes les tâches tenues par les rôles attribués à l'agent.

4.3.5 Relations entre les modules

❖ Relation du module de décision avec le module d'exécution de rôle/Module de réorganisation

Le module de décision est le responsable de l'activation de ces deux modules :

Si aucun réorganisation **alors**

M_décision déclenche l'activation du module d'exécution de rôle **Mexe_active (rex : rôle à exécuter)**

Sinon M_décision déclenche l'activation du module de réorganisation selon la stratégie de réorganisation sélectionnée **Mreorg_active (Nom de la stratégie de réorganisation) ;**

❖ Relation entre le module de réorganisation et le module d'exécution de rôles

Le module de réorganisation est défini comme le méta comportement c'est-à-dire d'appliquer la stratégie de réorganisation sur le module d'exécution de rôles en indiquant quel rôle doit être exécuté, changé ou suspendu par le module d'exécution. Nous distinguons plusieurs types d'information qui peuvent être fournies par le module de réorganisation :

- Informations sur le changement d'un rôle réalisé par le module d'exécution de rôles **Mreorg_Chang (Rexe, Rch) ;**
- Informations sur la suspension des rôles réalisée par le module d'exécution dans le cas où un agent décide d'abandonner l'organisation **Mreorg_Susp(ToutRexe) ;**

❖ Relation entre le Module de communication et les autres modules

Le module de communication permet à l'agent de communiquer (réception et envoi des messages) avec les autres. C'est lui qui fournit les messages de réorganisations parvenant des autres agents au module de réorganisation et qui envoie les messages de réorganisation proposé par ce dernier. Il fournit aussi les propositions qu'il reçoit au module d'évaluation afin de les évaluer. Finalement, il fournit et envoie les messages utilisés par le module d'exécution de rôles.

4.4 Propriétés du modèle proposé

Selon les critères présentés dans la section 3.8 du troisième chapitre on peut situer notre modèle selon les trois axes de réorganisation.

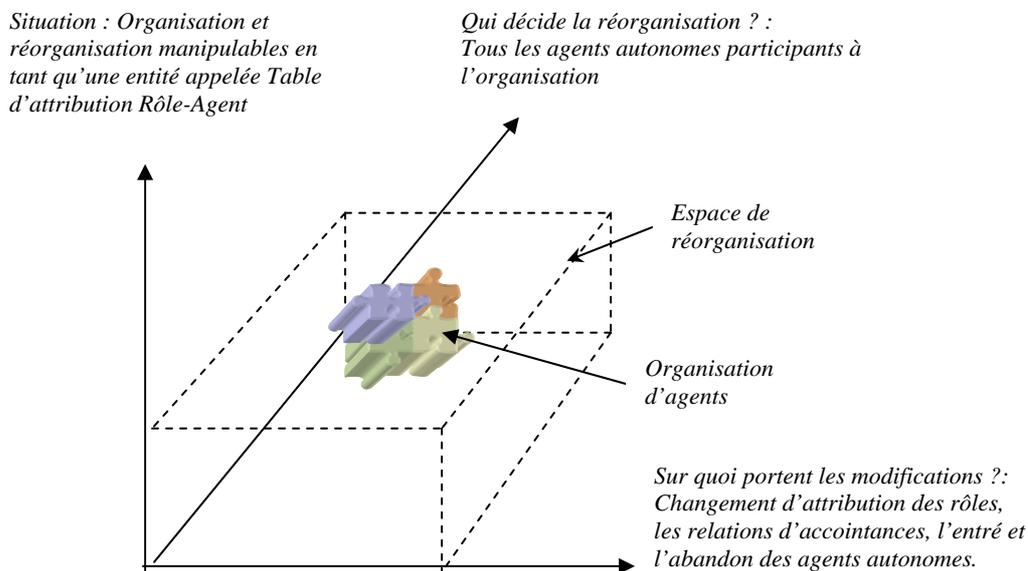


Figure 4.8 : la position du modèle proposé sur l'espace de réorganisation proposé dans [SIA, 2005].

- La connaissance de l'organisation et de réorganisation n'est pas située au niveau des agents mais au niveau d'une entité manipulable séparée : c'est la table d'attribution Rôle-Agent qui sauvegarde l'état de l'organisation ;
- Le non centralisation de la prise de décision de réorganisation dans un seul agent superviseur donne beaucoup de chances aux systèmes de procéder à une réorganisation. Il permet ainsi que d'éviter la défaillance du système en cas de défaillance de l'agent centralisateur. dans le modèle proposé, la décision de réorganisation est distribuée sur les agents autonomes grâce au concept d'**utilité**.

- Nous introduisons le critère d'utilité comme un moyen d'observation de l'environnement et les autres agents indispensables pour fonder la réorganisation.
- le concept d'utilité peut être mesuré en terme qualitatif ou quantitatif. Ceci va permettre de spécifier le modèle de réorganisation d'une manière formelle.
- Dans cette proposition aucune architecture spécifique d'agents n'est prise en compte ce qui donne le choix ouvert pour l'implémentation des agents ; même le changement d'architecture d'agents ne perturbe pas l'utilisation du modèle pour spécifier l'organisation.

4.5 Conclusion

Le modèle proposé et présenté dans ce chapitre spécifie l'organisation d'un SMA et sa réorganisation en vue de s'adapter aux changements de l'environnement du SMA. La connaissance organisationnelle et celle de la réorganisation sont spécifiées d'une manière explicite. Nous avons introduit certains concepts nécessaires à la réorganisation : l'utilité, le seuil de réorganisation, la table d'attribution Rôle-Agent et la table d'accointances.

Dans notre cas l'architecture de l'agent autonome est basée sur quatre modules qui sont :

- Le module d'évaluation et de décision qui permet à l'agent de prendre la décision de réorganisation d'une manière autonome grâce au concept d'utilité.
- Le module de réorganisation qui contient différents stratégies de réorganisation.
- Le module d'exécution de rôles qui exécute toutes les tâches tenues par les rôles attribués par l'agent.
- Le module de communication permettant à l'agent autonome de se communiquer avec les autres agents.

Cette architecture permet au système global de se réorganiser de façon ascendante où tous les agents participent dans la prise de décision ainsi que la mise en œuvre de la réorganisation.

Conclusion & perspectives

Dans ce mémoire, nous avons traité le problème de l'adaptation qui est une propriété très importante pour les systèmes qui font face aux divers changements externes provenant de l'environnement, et des éléments qui constituent le système lui-même.

Nous avons étudié les différentes solutions pour surmonter le problème de l'adaptation tel que les approches de planifications qui présentent des outils assez coûteuses puisqu'elles sont trop figées et trop structurantes. Ainsi, les méthodologies orientées objet ne sont pas suffisantes pour concevoir ce genre de système car elles ne prennent pas en compte les caractéristiques d'autonomie et de socialité de l'agent ainsi que les caractéristiques de complexité des interactions et de dynamicité du système. Une autre solution c'est d'utiliser les méthodologies basées sur l'organisation d'agents qui sont bien reconnues comme des approches efficaces pour augmenter l'efficacité de la résolution des problèmes et éviter les conflits entre les agents. Cependant, dans les applications complexes le concepteur n'a pas la connaissance de l'organisation finale qui permet d'aboutir à la réalisation de la bonne fonction ou activité.

Par conséquent, la réorganisation ou l'auto-organisation de société d'agents autonomes a la faculté pour permettre à un système de s'organiser lui-même et fournir au système une capacité d'adaptation à atteindre son objectif d'une manière souple.

Nous avons choisis dans notre travail la réorganisation pour traiter le problème de l'adaptation. Pour cela, on a détaillé les concepts et les principes liés à l'organisation et la réorganisation en même temps puisque l'appréhension de ce que pourrait être la réorganisation dans un système artificiel multi-agent passe alors par la compréhension des différents sens que recouvre le terme organisation.

Après l'étude de la littérature d'organisation et de réorganisation on a vu que pour concevoir un modèle de réorganisation plus approprié il faut prendre en compte en les points suivants [SIA, 2005]:

- ❖ Un modèle de réorganisation doit être stable pour mettre en évidence des structures. La stabilité d'une structure mesure sa constance dans le temps et dépend notamment de la force des perturbations nécessaires pour qu'elle soit modifiée.
- ❖ Assez sensible pour remettre en cause une organisation.
- ❖ Convergent pour aboutir à une nouvelle structure. La convergence mesure la capacité d'un système sans structure à créer des structures reconnues.
- ❖ La fréquence de réorganisation doit être raisonnable pour que son coût ne soit pas trop élevé (temps, ressources,..).
- ❖ Identification des points d'observation du système pour mesurer avec le plus possible de précision si une réorganisation est recommandée ou nécessaire.
- ❖ Eloigner la décision de réorganisation de la centralisation au niveau d'un seul agent superviseur puisque celui-ci devient le point de défaillance du système en cas de sa défaillance et rendre cette décision plus ou moins distribuée sur un ensemble d'agents.
- ❖ Prendre un point de vue centré organisation pour décrire l'organisation du SMA, facilitant ainsi l'évaluation de l'organisation chose souhaitable pour la réorganisation.
- ❖ L'évaluation du processus de réorganisation lui-même (temps et ressource) nécessaire pour aboutir à une organisation est à prendre en considération.
- ❖ La réorganisation prend en considération l'aspect statique du **SMA** et son aspect dynamique, structure et fonctionnement.
- ❖ Assurer une cohérence entre les trois dimensions : situation de la connaissance organisationnelle et celle de réorganisation, niveaux de décision de réorganisation et les modifications à faire dans l'organisation pour une réorganisation.
- ❖ Le processus de réorganisation doit être souple, c'est-à-dire passer d'une organisation à une autre sans aucune perturbation du fonctionnement du système.

Nous avons essayé de proposer un modèle de réorganisation basé sur le concept de l'utilité afin de satisfaire certains points de ce qu'on a cité précédemment en utilisant les concepts d'organisation tel que le rôle, l'agent, la tâche, les compétences qui sont définis dans le modèle d'organisation YAMAM [SAV, 2001] et en introduisant quelques concepts nécessaires à la réorganisation : l'utilité, Table d'attribution Rôle-Agent, table d'acointances.

Le modèle proposé présente une tentative d'établir un agent autonome générique, pour la réorganisation, où l'autonomie est définie par la capacité d'évaluation et de décision qui sont

centrées sur le concept d'utilité ; de telle sorte l'agent ne n'a pas besoin de faire aucun changement tant que son utilité est supérieur de son seuil de réorganisation déduit par l'agent lui-même. Un autre avantage dans cette architecture de l'agent est l'aptitude du module de réorganisation de s'étendre à intégrer d'autres algorithmes de réorganisation existant. Le dernier avantage est l'éloignement d'une architecture spécifique d'agent pour laisser le choix ouvert pour l'implémentation des agents.

Le modèle de réorganisation d'agents autonomes basé sur l'utilité que nous avons proposé est générique. Afin de valider ce modèle, il serait intéressant de l'utiliser pour réaliser des applications dans différents domaines. Nous pensons que cette architecture générique d'agent autonome peut être exploitable dans plusieurs domaines concurrentielles comme par exemple l'économie « les entreprises virtuelles, le marche virtuel... ».

Nous proposons dans nos perspectives une approche de réorganisation mixte qui satisfait les besoins de réorganisation de l'agent ainsi que les besoins de réorganisation au niveau globale. Notre travail peut être complété par un modèle formel permettant de caractériser de manière plus formelle le concept d'utilité pour faciliter leur exploitation d'un point de décision de réorganisation. Enfin, nos futurs travaux sur l'adaptation se focalisent sur l'auto-organisation et l'émergence où l'organisation interne du système n'est pas connue a priori.

Bibliographie

[AMI, 2002] Amiguet, M., Müller, J-P., Báez, J, Nagy, A. 2002. *The MOCA Platform: Simulating the Dynamics of Social Networks*, Workshop of Multi-Agent-based simulation, 2002, Barcelona.

[AMI, 2003] Amiguet, M. *MOCA: un modèle componentiel dynamique pour les systèmes multi-agents organisationnels*, thèse de doctorat 2003, Université de Neuchâtel (Switzerland).

[BAC, 2003] A Baciú , A Nagy *Coordination and Reorganization in Organizational Multi-Agent Systems* 2003 Suisse.

[BEN, 2007] Benjamin Gâteau, Olivier Boissier, Djamel Khadraoui. «Modélisation et Infrastructure d'Organisation Multi-Agent Normative » CITI/CRP Henri Tudor, SMA/G2I/ENSM Saint-Etienne, juillet 2007.

[BER, 2000] BERGENTI F. & POGGI A. (2000). *Exploiting UML in the design of multi-agent systems* - In A. Omicidi, R. Tolksdorf, F. Zambonelli, eds., *Engineering Societies in the Agents World - LNAI 1972*, pp 106-113, 2000. Berlin,Germany, Springer Verlag Publ (ESAW Workshop at ECAI 2000).

[BON, 1997] Bonabeau Eric, Theraulaz Guy, “ Auto-organisation et comportement collectifs: la modélisation des sociétés d’insectes” dans “ Auto-organisation et comportement” Coordinateurs Guy Theraulaz et François Spitz – Editions Hermès 1997 -). 91 – 140

[BOO, 1992] BOOCH G .*Conception orientée objets et applications* - Addison-Wesley, 1992.

[BOU, 1992] François Bourdon. *Un modèle de dérive des connaissances - Applications en bureautique*. Thèse de Doctorat, Université du Maine, juillet 1992.

[BOU, 1998] François Bourdon. *Systèmes d'information ouverts : sémantique interactionnelle des connaissances et systèmes multi-agents*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Caen, Janvier 1998.

[CAL, 1997] Calderoni, S., Courdier, R., Leman, S., et Marcenac, P. (1997). Construction expérimentale d'un modèle multi-agents. In Quinqueton, J., Thomas, M.-C., et Trousse, B., editors, *Actes des 5èmes journées francophones JFIADSMA'97*

[CAM, 1996] Valérie Camps, Marie-Pierre Gleizes. *Cooperative and mobile agents to find relevant information in a distributed resources network*. In WWW5 AI Workshop Fifth International World Wide Web Conference, Paris, France, May , 1996.

[CAP, 2003] Capera, D., Georgé, J-P., Gleizes, M-P., Glize, P, "The AMAS theory for complex problem solving based on self-organizing cooperative agents", *TAPOCS*, Linz, Autriche, 2003.

[CAR, 2001] Carole Bernon, Valérie Camps, Marie-Pierre Gleizes, Pierre Glize, « La conception de systèmes multi-agents adaptatifs : contraintes et spécificités », *Atelier de Méthodologie et Environnements pour les Systèmes Multi-Agents (SMA 2001)*, Plate-forme AFIA, Grenoble du 25 au 28 juin 2001.

Bibliographie

- [CHA, 1998] Pascal Chatonnay. *Gestion de l'allocation des ressources aux objets dans les systèmes répartis, une approche multicritère intégrant les communications*. Thèse de l'Université de Franche-Comté, Janvier 1998.
- [COL, 1998] COLLINOT et A. DROGOUL : La méthode de conception multi-agent CASSIOPEE : application à la robotique collective. *Revue d'intelligence artificielle*, 12(1):125–147, 1998.
- [COU, 1999] COULIER Wim et al. (1999). *MESSAGE Project (Methodology for Engineering Systems of Software AGents)* - <http://www.eurescom.de/~public-webspace/P900-series/P907/index.htm>.
- [DEM, 1996] Yves Demazeau and A.C. Rocha Costa. Populations and Organisations in Open Multi-Agent Systems, 1st Symposium on Parallel and Distributed AI, Hyderabad, India, July 1996.
- [DIG, 2004] Virginia Dignum, Liz Sonenberg, Frank Dignum: Towards Dynamic Reorganization of Agent Societies, Proceedings of Workshop on Coordination in Emergent Agent Societies at ECAI 2004, Valencia, Spain.
- [DIG,2000] Dignum, F., Morley, D., Sonenberg, E., et Cavedon, L. Towards socially sophisticated BDI agents. In Fourth International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'00) Proceedings. IEEE. 2000.
- [DIL, 1996] Bruno Dillenseger. *Une approche multi-agents des systèmes de bureautique communicante*. Thèse de Doctorat, Université de Caen, Novembre 1996.
- [DRO, 1998] A. DROGOUL et A. COLLINOT : Applying an agent-oriented methodology to the design of artificial organizations : A case study in robotic soccer. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1(1):113–129, 1998.
- [DRO, 2000] DROGOUL : Systèmes multi-agents situés. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 2000.
- [DRZ, 1998] A. DROGOUL et J.-D. ZUCKER : Methodological Issues for Designing Multi-Agent Systems with Machine Learning Techniques : Capitalizing Experiences from the RoboCup Challenge. Rapport Interne 42/98, LIP6 - Université de Paris 6, 1998.
- [FER, 1995] J. Ferber. *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*. InterEditions, 1995.
- [FER, 1998] Ferber J., Gutknecht O., *A Meta-Model for the Analysis and Design of Organizations in Multi-Agents Systems*, 1998 <http://www.madkit.org>
- [FER, 2005] Concepts et méthodologies multi-agents. Chapitre rédigé par Jacques FERBER, l'école thématique CNRS, 2005.
- [FIP, 1999] FIPA (1999) <http://www.fipa.org/spec/FIPA98.html>.
- [FOI, 1998] Foisel, R. Modèle de réorganisation de systèmes multi-agents : une approche descriptive et opérationnelle. PhD thesis, Université Henri Poincaré - Nancy 1. 1998
- [FOI, 2002] Rémy FOISEL, Vincent CHEVRIER et Jean-Paul HATON. « Un modèle pour la réorganisation de systèmes multi-agents, CRIN-CNRS & INRIA Lorraine.

Bibliographie

[FOX, 1981] Fox, M.S. “ An organizational view of distributed systems ”. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., SMC-11, pp70-80, 1981.

[GAU, 2004] GAUTHIER PICARD, « Méthodologie de développement de systèmes multi-agents adaptatifs et conception de logiciels à fonctionnalité émergente ». Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse III, 2004.

[GAU, 2006] Gauthier Picard, Sehl Mellouli, and Marie-Pierre Gleizes Techniques for Multi-agent System Reorganization ESAW 2005, LNAI 3963, pp. 142 – 152, 2006. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

[GEO, 2003] Georgé J-P. Gleizes, M-P., Glize, P., "Conception de systèmes adaptatifs à fonctionnalité émergente : la théorie Amas", Revue RIA n°4/2003, 2003.

[GEO, 2004] Georgé J-P. « RESOLUTION DE PROBLEMES PAR EMERGENCE Étude d'un Environnement de Programmation Émergente ». Thèse de doctorat de l'Université TOULOUSE III - PAUL SABATIER, 2004.

[GEO, 2004] George J.P., Edmonds B. Glize P.: Making self-organizing adaptive multi-agent systems work. In Bergenti, F., Gleizes, M-P., Zambonelli, F. eds, Methodologies and Software Engineering for Agent Systems. Kluwer, 2004.

[GLA, 1996] N. Glaser. *Contributing to Knowledge Modeling in a Multi-Agent Framework : the CoMoMAS Approach*. PhD thesis, Université Henri Poincaré, Nancy 1, France, 1996.

[GLA, 1998] Glaser, Norbert and Morignot, Philippe: The Reorganization of Societies of Autonomous Agents. In Modelling Autonomous Agents in Multi-Agent Worlds (MAAMAW). (Ronneby, Sweden). Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1237, Springer Verlag (1997)98-111.

[GLE, 2004] Marie-Pierre Gleizes, « Vers la résolution de problèmes par émergence », Thèse Habilitation à diriger des recherches de l'Université Paul Sabatier, 2004.

[GUE, 2003] Z. Guessoum. « Modèles et architectures d'agents et de systèmes multi-agents adaptatifs ». Thèse d'habilitation de l'université de paris 6, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, 2003.

[GUE, 2004] Zahia Guessoum, Mikal Ziane, Nora Faci: Monitoring and Organizational-Level Adaptation of Multi-Agent Systems. Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (2004) 514-521.

[GUT, 1998] J. Ferber and O. Gutknecht. A meta-model for the analysis and design of organizations in multiagent systems. In Proc. of ICMAS 1998, pages 128–135. IEEE CS Press, 1998.

[GUT, 1999] GUTKNECHT O. & FERBER J. *Vers une méthodologie organisationnelle de conception de systèmes multi-agents* - Actes des septièmes Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents - *Ingénierie des SMA & Applications*. - Éditions Hermès, 1999.

[GUT,2001] Olivier Gutknecht *Proposition d'un modèle organisationnel générique de systèmes multi-agents Examen de ses conséquences formelles, implémentatoires et méthodologiques* ; Thèse 2001 Université de Montpellier II France.

Bibliographie

[HAN,2000] M. Hannoun, O. Boissier, J. Sichman, and C. Sayettat. Moise: An organizational model for multi-agent systems. In IBERAMIA-SBIA '00: Proceedings of the International Joint Conference, 7th Ibero-American Conference on AI, pages 156–165. Springer-Verlag, 2000.

[HAN, 1999] Hannouns, M., Boissier, O., Sichman, J. S., et Sayettat, C. (1999). Moise : un modèle organisationnel pour la conception de systèmes multi-agents. In Gleizes, M.-P. et Marcenac, P., editors, Actes des 7èmes journées francophones sur l'Intelligence Artificielle distribuée et les systèmes multi-agents (JFIADSMA'99)

[HOR, 1999] B. Horling, B. Benyo, and V. Lesser: Using Self-Diagnosis to Adapt Organizational Structures. Computer Science Technical Report TR-99-64, University of Massachusetts at Amherst(1999).

[HUB, 2002] J. F. Hübner, J. S. Sichman et O. Boissier. Spécification structurelle, fonctionnelle et déontique d'organisations dans les SMA. Dans J.-P. Müller (éditeur), JFIADSMA'02. Hermes, 2002.

[HÜB, 2002] J.F. Hübner, J.S. Sichman , O. Boissier *Spécification structurelle, fonctionnelle et déontique d'organisations dans les SMA 2002* (jfiadsma'02).

[IGL, 1999] IGLESIAS C., GARIJO M. & GONZÁLEZ J. *A survey of agent-oriented methodologies* - In Proceedings of the Workshop on ATAL'98, Paris, France. LNAI 1555, Springer Verlag, 1999. Berlin.

[JEN, 2000] Jennings, N. R.. *On agent-based software engineering*. Artificial Intelligence Journal, 2000.

[KIT, 1998] Kitano, H., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Noda, I. *RoboCup : A challenge problem for AI and robotics*.

[KRI, 1997] Krippendorff Klaus, « Dictionary of Cybernetic », 27 janvier 1997, <http://pespmcl.vub.ac.be/SELFORG.html>.

[LAH, 2002] Ammar LAHLOUHI, Zaidi SAHNOUN, Akila REFRAFI, Soumia AZIZI, Hadia-Z. KHELIFA, Fouzia MIMI, Laid KAHLOUL and Ziane ATTAOUA, “MASA-Method: A Multi-agent Development methodology” (Accepted) 6th world multi-conference on systemic, cybernetics and informatics (SCI 2002), Software engineering of multi-agents systems session (SEMAS 2002), Orlando, Florida, July 14-18, 2002.

[MAE, 1994] M. M. Maes. « Modeling adaptative autonomous agent ». Artificial life journal, 1(1 et 2) :135-162, 1994.

[MAL, 1999] Eric Malville *L'auto-organisation de groupes pour l'allocation de tâches dans les Systèmes Multi-Agents: Application à CORBA* ; Thèse 1999 Université SAVOIE France.

[MAR, 1996] Groupe MARCIA. *Auto-organisation := Evolution de structure(s)*; Actes de la Journée PRC-GDR Intelligence Artificielle sur le thème des Systèmes Multi-Agents, Toulouse, 2 février 1996.

[MAR, 1997] Marcenac Pierre, Calderoni Stéphane, « Self-organisation in Agent-Based Simulation », Proceedings of MAAMAW'97, Ronneby, Sweden, May 1997 <http://www.univ-reunion.fr/~marcenac/Publications/MAAMAW97.ps>.

[MAR, 2001] Marc Savall, Jean-Pierre Pécuchet, Nathalie Chaignaud, Mhamed Itmi “YAMAM – un modèle d'organisation pour les systèmes multi-agents. Implémentation dans la plate-forme Phœnix “, 3^e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation «Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels» MOSIM'01 –du 25 au 27 avril 2001 –Troyes (France)

- [**MAT, 2005**] Matson, E., DeLoach, S.: Formal transition in agent organizations. International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems (2005)235 – 240
- [**SO, 1993**] So, Y. and Durfee, E. H.: An organizational self-design model for organizational change. In AAAI-93 Workshop on AI and Theories of Groups and Organizations: Conceptual and Empirical Research, Washington, D.C. (1993)8-15.
- [**MOR, 1998**] P. MORAITIS, E. PETRAKI et N. SPANOUDAKIS : Engineering JADE Agents with Gaia Methodology. Dans R. KOWALCZYK, J. MULLER, H. TIANFIELD et R. UNLAND, éditeurs : *Agent Technologies, Infrastructures, Tools and Applications for E-Services – Best (revised) papers of NODe 2002 Agent-Related Workshops*, volume 2592 de *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*, pages 77–92. Springer-Verlag, 2002.
- [**MOR, 1977**] Morin E. “ La méthode (1) : La nature de la Nature. ” Le seuil; 1977.
- [**MÛL, 1998**] MÜLLER J-P. *Analysis and design of multi-agent systems*. Contribution to Methodologies/software engineering SIG - First SIG Meeting,1998.
- [**NIC, 2006**] Nicolas MARION, Ronan QUERREC, « étude de modèles d'organisation sociale pour les environnements virtuels de formation », Bibliographie de stage de Master 2 Recherche Informatique IFSIC, Laboratoire d'Informatique pour les systèmes Complexes, CERV : Centre Européen de Réalité Virtuelle, 2006.
- [**ODE, 2001**] ODELL J., PARUNAK H. V. D. & BERNHARD B. (2001). *Representing agent interaction protocols in UML - Agent-Oriented Software Engineering*, Paolo Ciancarini and Michael Wooldridge eds., Springer-Verlag, Berlin, pp. 121-140.
- [**ODE, 2003**] Odell J, Parunak. H, Fleischer. M *the role of roles in designing effective agent organization* . LNCS 2003 USA
- [**OHK, 1996**] Takuya Ohko and Kazuo Hiraki and Yuichiro Anzai. *Reducing Communication Load on Contract Net by Case-Based Reasoning -- Extension with Directed Contract and Forgetting* In proceedings of the second International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS), held in Kyoto, Japan, December 1996.
- [**PAR, 2002**] PARUNAK H.V.D., ODELL J., "Representing Social Structure in UML", in Agent-Oriented Software Engineering II, Montreal, Canada, Springer, p.1-16, 2002.
- [**PHA, 2004**] D. Phan. Cognitive Economics, chapter From Agent-Based Computational Economics towards Cognitive Economics, pages 371-398. Springer Verlag, 2004.
- [**PIQ, 1996**] Christine Piquemal-Baluard, Pierre Glize. *Des aptitudes non cognitivistes d'agents pour l'auto-organisation*. Actes de la Journée PRC-GDR Intelligence Artificielle sur le thème des Systèmes Multi-Agents, Toulouse, 2 février 1996.
- [**QUE, 2002**] Querrec, R. (2002). Les systèmes multi-agents pour les environnements virtuels de formation. Application à la sécurité civile. PhD thesis, ENIB, UBO.
- [**RAS, 1991**] Rasmussen, J., “ Modelling Distributed Decision Making. ” In Distributed Decision Making: Cognitive Models for Cooperative Work, edited by J. Rasmussen, B. Brehmer and J. Leplat, John Wiley & Sons Ltd, 1991.

Bibliographie

- [REJ,2005] Lilia REJEB, « Simulation multi-agents de modèles économiques vers des systèmes multi-agents adaptatifs », Thèse de doctorat de l'Université Reims Champagne-Ardenne, 2005.
- [ROH,2005] Benaboud Rohallah, «Modélisation des interfaces Homme-Machine adaptatives : ‘ une architecture basée agents ‘» Mémoire de magister de Centre Universitaire Larbi Ben M'hidi,2005.
- [SAV,2001] Marc Savall, Jean-Pierre Pécuchet, Nathalie Chaignaud,Mhamed Itmi, « YAMAM – un modèle d'organisation pour les systèmes multi-agents. Implémentation dans la plate-forme Phœnix », *3e Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation «Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels» MOSIM'01 –du 25 au 27 avril 2001 –Troyes (France).*
- [SCH, 1991] Schmidt, K, “ Cooperative Work: A Conceptual Framework ”. In Distributed Decision Making: Cognitive Models for Cooperative Work, J. Rasmussen, B. Brehmer and J. Leplat (Eds.), John Wiley & Sons Ltd, pp. 75-110, 1991
- [SIA, 2005] SIAM Abderrahim, « Réorganisation dans les systèmes multi-agents », Mémoire de magister de Centre Universitaire Larbi Ben M'hidi, 2005.
- [SIC, 1995] Sichman, J. Du raisonnement social chez les agents : une approche basée sur la théorie de la dépendance. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble 1995.
- [SIN, 1991] Singh, M. P. Group ability and structure. In Demazeau, Y. et M'uller, J.- P., editors, Decentralized A.I. 2 : Proc. of the 2nd European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, Amsterdam.1991
- [SMI, 1980] R. G. Smith. “The contract net protocol : High-level communication and control in a distributed problem solver.” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, C- 29(12):1104-1113, December 1980.
- [So, 1993] Young-pa So and Edmund H. Durfee. *An Organizational Self-Design Model for Organizational Change.Production Systems. AAAI93 Workshop on AI and Theories of Groups and Organizations*, 1993.
- [ÜNS, 1993] Ünsal Cem “Self-organization in large populations of mobile robots” Master of Science in Electrical Engineering, May 1993, Blacksburg, Virginia <http://armyant.ee.vt.edu/unsalWWW/cemthesis.html>
- [TAM, 2000] Tambe, M. et Zhang, W. Towards flexible teamwork in persistent teams . Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2000
- [TVE, 2001] TVEIT A. *A survey of agent-oriented software engineering* - NTNU Computer Science Graduate Student Conference. Norwegian University of Science and Technology, May 2001.
- [VAL, 1998] Valérie CAMPS « Vers une théorie de l'auto-organisation dans les systèmes multi-agents basée sur la coopération: application à la recherche d'information dans un système d'information répartie », thèse doctorat Université Sabatier de Toulouse, 1998.
- [VAR, 1988] Varela Fransico J. « Autonomie et connaissance :essai sur le vivant ». Edition du seuil 1988.
- [VAR, 1993] Varela Fransico J., Thompson Evan, Rosh Eleanor « l'inscription corporelle de l'esprit » Edition du seuil – Avril 1993.

Bibliographie

[VIL, 2002] Marlène VILLANOVA-OLIVER, « Adaptabilité dans les systèmes d'information sur le web : Modélisation et mise en œuvre de l'accès progressif », Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique Grenoble, 2002.

[VZQ, 2004] Vázquez-Salceda, J., Dignum, V., et Dignum, F. (2004). Organizing multiagent systems. Technical Report UU-CS-2004-015, Institute of Information and Computing Sciences, Utrecht University.

[WOD, 2000] WOOD M. & DELOACH S. *An overview of the multiagent systems engineering methodology* – AOSE'00 – LNCS n° 1957 – Springer Verlag, Berlin – January 2000.

[WOL, 2000] WOOLRIDGE M., JENNINGS N. & KINNY D. (2000). *The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design* – Journal of Autonomous Agents and Multiagent Systems – 3 (3), pp 285-312, 2000.

[YIM, 2000] YIM H., CHO K., KIM J. & PARK S. (2000). *Architecture-centric object-oriented design method for multi-agent systems* - ICMAS 2000.

[ZAM., 2001] F. Zambonelli, N. Jennings, and M. Wooldridge. Organizational rules as an abstraction for the analysis and design of multi-agent systems. *Journal of Software and Knowledge Engineering*, 11:303–328, 2001.