

ACADÉMIE DE MONTPELLIER
UNIVERSITÉ MONTPELLIER II
— SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC —

Mémoire de Stage de Master

SPÉCIALITÉ : **Recherche en Informatique**
Mention : **Informatique, Mathématiques, Statistiques**

effectué au laboratoire LIRMM/INFO

—
sous la direction de JACQUES FERBER ET TIBERIU STRATULAT

Sémantique des organisations

par

Ludivine Crépin

Pré-version du 29 juin 2006

Contents

Contents	1
1. Introduction	3
2. Le modèle AGREEN	5
2.1. Agent - Groupe - Rôle	6
2.2. Environnement	7
2.2.1. Objet	7
2.2.2. Mode	8
2.3. Normes	8
2.4. Modèle	9
3. Institution	11
3.1. L'institution selon Searle	11
3.2. Normes constitutives	12
3.2.1. L'opérateur count-as	12
3.2.2. Modalité D_s	14
3.2.3. Sémantique de la relation count-as	15
3.3. Institution et SMA	16
3.3.1. Institution et croyance collective	16
3.3.2. Fait brut et institutionnels	17
3.3.3. Evolution de l'institution	18
3.3.4. Type d 'institution	19
3.3.5. Cas particuliers: les espaces	20
4. Formalisme	22
4.1. Scénario	22
4.1.1. Warbot	22
4.1.2. Extension	23
4.2. Rôle	23
4.2.1. Normes régulatrices	24
4.2.2. Pouvoirs	25
4.2.3. Normes constitutives	27
4.2.4. Rôle	29

CONTENTS

4.2.5. Héritage de rôle	30
4.3. Mode	30
5. Extension à FIPA	33
5.1. FIPA	33
5.1.1. Acte de communication FIPA	34
5.1.2. Sémantique FIPA	35
5.1.2.1. Acte de communication Inform	36
5.1.2.2. Acte de communication Declare	37
5.2. Sémantique FIPA publique	37
5.3. Sémantique FIPA cognitive	38
5.4. Sémantique des actes	39
5.4.1. Acte	40
5.4.2. Acte et norme	41
6. Conclusions et perspectives	43
Bibliography	45
A. Annexes	47
A.1. Brève présentation du modèle AGRE	47
A.2. Formalisation du rôle par Demolombe	49

1. Introduction

Ce mémoire établit le bilan d'un stage de Master effectué au sein du LIRMM, département informatique. Il s'inscrit dans le cadre des travaux portant sur les systèmes multi-agents (SMA) qui y sont réalisés.

Un SMA est un ensemble d'agents situés dans un certain environnement et interagissant selon une certaine organisation. Un agent est une entité caractérisée par le fait qu'elle est autonome (libre d'agir selon ses propres choix). Cette entité peut être un processus, un robot, un être humain...

Le problème principal étudié dans le domaine des systèmes multi-agents est celui de l'interaction entre des entités autonomes et hétérogènes.

Des efforts de standardisation, [FIPA, 1996], ont réussi à apporter certaines précisions sur la façon dont on construit des architectures de systèmes à base d'agents, notamment sur la communication inter-agents. Selon le standard, le seul type d'interaction pris en compte actuellement est celui de la communication. La sémantique associée est inspirée par la théorie des actes de communication (ACL). Malheureusement ce modèle montre de plus en plus son insuffisance sous au moins deux aspects, [J.R.SEARLE, 1965].

Dans un premier temps, certaines critiques, [M.P.SINGH, 1998], sont apparues concernant l'utilisation exclusive de concepts cognitifs pour décrire la sémantique des ACL : il est difficile d'avoir accès aux états mentaux d'un agent pour pouvoir vérifier la conformité de ses actes à leurs sémantiques.

Le deuxième type de carence, [M.ESTEVA *et al.*, 2001; A.ARTIKIS *et al.*, 2002], est mis en évidence par les travaux qui se font autour de l'aspect social de l'interaction : l'interaction se réalise par communication "en cachette", c'est-à-dire exclusivement entre deux agents (l'émetteur et le récepteur). Dans les approches de type "social" on montre que les conditions pour pouvoir produire une action ainsi que les effets obtenus dépendent (ou s'appliquent sur) non seulement de l'agent qui réalise l'action mais également des autres agents présents dans le système. L'interaction ne se réalise pas qu'en "cachette", mais elle a potentiellement une perspective publique, [M.P.SINGH, 1998].

L'objectif de ce stage est de définir une sémantique de type FIPA, [FIPA, 1996], pour une architecture organisationnelle permettant de prendre en compte les organisations, les actions dans l'environnement et les normes. Le modèle choisi

1. Introduction

est AGREEN (Agent- Groupe- Role- Environnement- Et- Normes),[J.BAEZ *et al.*, 2006].

Ce mémoire est organisé de la sorte: dans un premier temps, le modèle AGREEN sera présenté. Ensuite, dans le chapitre 3, la notion d'institution sera étudiée. Cela nous amènera alors au formalisme des organisations pour finir sur une extension à la sémantique FIPA pour le problème des communications exclusives. Enfin nous concluons et présenterons les perspectives de ce stage.

2. Le modèle AGREEN

Avant de rentrer en détails dans le modèle AGREEN, nous allons présenter la problématique qui est au départ du développement de ce modèle. Cela amènera une brève description de ses concepts pour finir par une étude plus approfondie d'AGREEN.

Les principes d'autonomie des agents et celui d'ouverture des SMA sont primordiaux même si cela a comme inconvénient de rendre difficile leur contrôle:

- le principe d'autonomie permet aux agents d'avoir les capacités de réagir aux évènements sans pour autant qu'une intervention externe à l'agent soit requise: leur schéma mental est donc masqué
- celui d'ouverture implique le fait que les agents peuvent circuler (entrer et sortir) librement.

Un SMA ouvert et hétérogène implique la prise en compte de composantes dynamiques (les agents et les ressources ne sont pas statiques: ils peuvent entrer et sortir du SMA au cours de l'exécution), conçues par plusieurs concepteurs avec des méthodes différentes et distribuées.

D'un point de vue génie logiciel, la conception de SMA à large échelle nécessite des moyens de structuration. Dans un SMA ouvert et hétérogène, la représentation explicite de cette structuration devient nécessaire, [O.GUTKNECHT, 2001].

Le modèle AGREEN, [J.BAEZ *et al.*, 2006], a été développé à cette fin. Sa structuration est divisée en deux volets:

1. une structuration environnementale,
2. une structuration sociale.

Pour ce qui est de la structuration environnementale, ce modèle se base sur le modèle Agent-Groupe-Rôle-Environnement¹ (AGRE), [J.FERBER *et al.*, 2005], présenté en annexe A.1, qui prend en considération l'environnement : une entité active qui met en relation l'ensemble des agents et en régit les règles d'interaction. L'environnement est fait de telle sorte à faciliter de façon non-intrusive:

¹Ce modèle est une extension du modèle AGR, [O.GUTKNECHT, 2001] [J.FERBER *et al.*, 1998]

2. Le modèle AGREEN

1. la surveillance du comportement des agents ;
2. le contrôle du comportement des agents pour empêcher *a priori* tout comportement nuisible (ou non souhaitable du point de vue du développeur).

Ensuite, sa structuration sociale permet de favoriser ou non certains types de comportement par la donnée des normes, [J.HÜBNER *et al.*, 2002; T.STRATULAT, 2002; A.ARTIKIS *et al.*, 2002]. Cela fournit un certain contrôle au niveau des groupes.

Cette structure ainsi que l'ensemble des normes permet de définir une institution, [A.J.I.JONES et M.SERGOT, 1996].

Les sections qui suivent développent point par point toutes les notions d'AGREEN : Agent, Groupe et Rôle, Environnement et Normes. Cela nous mènera à sa représentation en dernière section.

2.1. Agent - Groupe - Rôle

Le modèle AGR permet de définir le niveau organisationnel en décomposant la structure sociale en trois parties:

1. **Agent**: il s'agit d'une entité autonome qui a la capacité de communiquer avec d'autres agents. Un agent joue un ou plusieurs rôles dans un ou plusieurs groupes.

Les agents sont des entités autonomes qui entrent dans le SMA afin de l'influencer pour arriver à un certain but. Il est important de noter que le système ne définit aucune contrainte sur l'architecture ou sur les capacités mentales des agents.

Un agent est représenté par son état mental:

- a) ses croyances B : ce que l'agent croit savoir du monde dans lequel il se trouve,
 - b) ses désirs D : ce que l'agent veut à un moment donné,
 - c) ses intentions I: ce que l'agent veut arriver à faire (but persistant).
2. **Groupe**: un groupe correspond à un ensemble d'agents qui partagent des caractéristiques communes ainsi qu'un objectif commun. Le groupe peut être considéré comme un moyen de partitionner l'organisation en plusieurs ensembles. Deux agents ne peuvent communiquer que s'ils appartiennent au même groupe.

2. Le modèle AGREEN

3. **Rôle:** un rôle est la représentation abstraite de la fonction d'un agent. Cette représentation est locale à un groupe. Lorsqu'un agent rentre dans le système, il doit jouer un rôle dans un groupe. Un même rôle peut être joué par plusieurs agents.

2.2. Environnement

Avant de définir ce qu'est un environnement, il nous faut d'abord regarder la notion d'espace.

Un espace regroupe toutes les entités liées à un groupe. Il peut être composé d'un ou plusieurs autres espaces. De plus, il est lié à un seul et unique groupe. De ce fait, la notion de groupe devient implicite. Seule la notion d'espace est utilisée.

Les espaces sont des sortes de boîtes noires: ils sont opaques les uns pour les autres (principe de *divide et impera*). En effet, un espace s_1 ne connaît pas ce qu'il se passe dans un autre espace s_2 et réciproquement s_2 ne connaît pas l'intérieur de s_1 .

L'environnement est un espace particulier: il est l'espace "premier". C'est par son biais que les agents peuvent incarner un rôle et communiquer. Il sert en quelque sorte de point d'entrée du système pour les agents. Il contient toutes les autres entités du système (les objets, les modes, les groupes et les différents espaces).

De plus, il gère toutes les communications des agents du groupe en vérifiant si elles sont légales ou non (un agent ne peut communiquer avec un autre agent seulement s'ils appartiennent aux mêmes espaces).

Ainsi, une communication est légale si et seulement si la représentation des agents qui communiquent appartient au même espace, comme le montre l'exemple suivant.

L'environnement E_1 est partitionné en deux espaces: E_2 et E_3 . L'agent A_1 est représenté dans E_1 mais aussi dans E_2 , l'agent A_2 est représenté dans E_1 et E_2 , l'agent A_3 dans E_1 et E_3 . Les deux agents A_1 et A_2 peuvent communiquer ensemble car ils sont représentés dans les mêmes espaces mais l'agent A_3 ne peut communiquer car il est isolé avec E_3 .

2.2.1. Objet

Toutes les entités du SMA, y compris les espaces, sont considérées comme étant des objets. Tout objet a un état, décrit par un ensemble d'attributs. Tout objet est créé avec un état initial. Cet état suit une dynamique: il change selon des influences internes (tel état amène tel état) ou externes (interactions avec d'autres objets).

2. Le modèle AGREEN

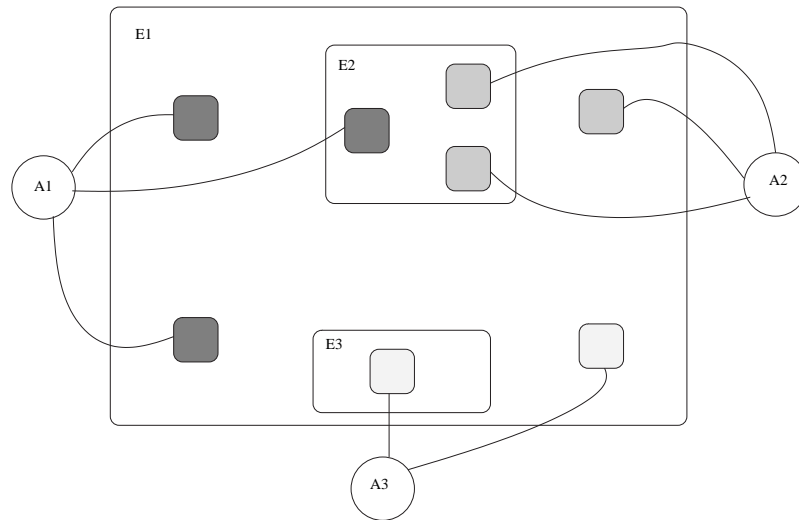


Figure 2.1.: Division d'un environnement en espaces et communications

Les différences entre tous les objets possibles viennent de leurs caractéristiques. En effet, certains objets ont la possibilité d'influencer l'environnement. Ces derniers peuvent être "contrôlés" ou non par les agents. De plus, d'autres objets, comme les espaces par exemple, vont gérer les objets qu'ils contiennent, notamment au niveau de l'interaction entre ces derniers (lois de l'univers, fonction d'action-réaction).

2.2.2. Mode

Ce sont par les modes que les agents influencent l'environnement. Ils représentent la manifestation, sociale et physique, d'un agent incarnant un rôle.

Les modes comprennent donc l'identifiant de l'agent (esprit ou propriétaire), ainsi qu'une référence vers le rôle que l'agent incarne.

Pour qu'un agent puisse incarner un rôle, donc être représenté par un mode, il faut répondre à certaines conditions: les certificats. Ces certificats rentrent aussi bien en jeu lorsqu'un agent demande à incarner ou à abandonner un mode.

2.3. Normes

L'intégration du concept de norme dans un système multi-agents entraîne le fait que ce dernier devienne un système d'agents normatifs (SAN): les agents obéissent à une autorité afin que ces derniers tendent à amener un état idéal du sys-

2. Le modèle AGREEN

tème. Les normes ainsi que les SAN ont déjà été l'objet de plusieurs études, [T.STRATULAT, 2002], [J.HÜBNER *et al.*, 2002] et [A.ARTIKIS *et al.*, 2002].

Dans un SAN, ce sont les normes qui permettent au système de se rapprocher du concept de l'état idéal. Ainsi, une norme décrit une règle de comportement en général:

$$\text{norme} \leftarrow \text{conditions.}$$

Si les conditions sont valides, alors l'entité sur laquelle elle porte devra respecter ce qu'indique la norme. Son comportement sera dirigé par les normes.

Elles permettent d'assurer une certaine décentralisation mais également d'augmenter le niveau de confiance entre les entités. Elles sont adaptées au dynamisme mais nécessitent une infrastructure.

Dans un système normatif, une norme peut intervenir à différents niveaux:

1. **comportemental**: un agent va choisir sa prochaine action à exécuter (ou encore les prochains objets sur lesquels il va agir), en fonction des normes;
2. **social**: les interactions entre rôles sont régies par un ensemble de normes;
3. **institutionnel**: la connaissance des pouvoirs (possibilités d'actions) par un agent se fait par le biais des normes;
4. **communicationnel**: les normes étant dynamiques, elles sont communiquées lors de l'exécution du système.

Les normes selon Searle, [J.R.SEARLE, 1969], peuvent être de deux types différents:

1. Le premier type est dit régulateur: une **norme régulatrice** permet d'influencer un comportement. Ce type de normes concerne le niveau comportemental et social.
2. Le second est de l'ordre de la constitution: une **norme constitutive** donne la réalité d'une institution (les croyances communes d'une institution). Ces normes permettent de définir le niveau institutionnel.

2.4. Modèle

De tout cela découle le modèle AGREEN.

2. Le modèle AGREEN

Pour ce qui concerne sa structuration sociale, AGREEN la rend implicite. En effet, il se base sur l'analogie qu'il existe entre la structure environnementale et la structuration sociale.

Tout d'abord, à un espace correspond un seul et unique groupe. Cela permet de rendre la notion de groupe implicite.

Ensuite, les représentations sociale et physique d'un agent sont tout à fait analogue, ce qui nous permet de les regrouper en une seule entité: le mode.

Ceci peut être représenté par le schéma suivant.

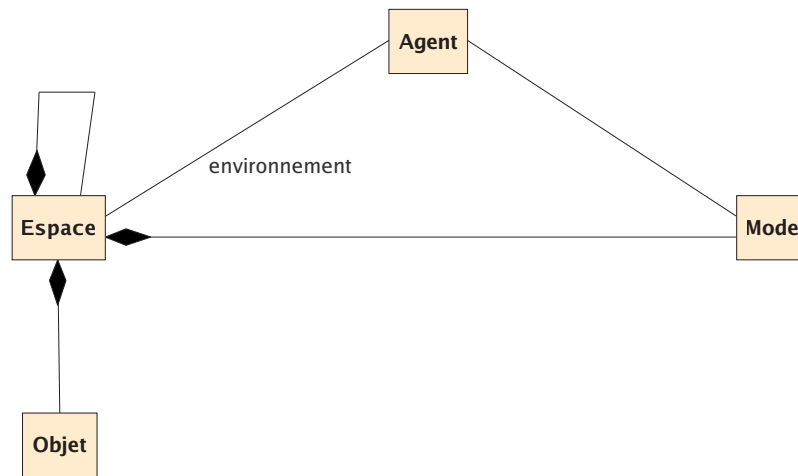


Figure 2.2.: AGREEN

3. Institution

Le but de ce chapitre est de donner au lecteur tous les éléments (en langage naturel mais aussi en logique) afin de pouvoir cerner ce qu'est une institution.

Nous commencerons par donner le point de vue de Searle (professeur de philosophie à l'université de Berkeley, Californie) pour ce qui est du niveau du langage naturel pour en venir au côté logique par la définition de normes constitutives. La fin de ce chapitre est consacré à l'intégration de l'institution dans les SMA et des répercussions que cela entraîne.

3.1. L'institution selon Searle

Searle, [J.R.SEARLE, 1969], définit deux types de normes: les régulatrices et les constitutives. Les normes régulatrices permettent d'indiquer le comportement qu'il serait préférable de suivre pour les agents. Par contre, les normes constitutives permettent de définir une institution. Searle prend comme exemple l'institution du mariage ou encore le jeu des échecs. Ces deux institutions n'ont aucune existence en dehors des règles (ou normes) qui les dirigent. Les normes constitutives représentent les règles de croyance de tout système normatif.

Une institution est donc représentée par un ensemble de règles. Pour définir ces règles, il se base sur la séparation du monde en deux: le social et le brut.

De ce fait, il fait également une distinction entre les *faits bruts* qui appartiennent au monde brut (ou physique) et les *faits institutionnels* qui appartiennent au monde social.

En fait, les *faits institutionnels* sont des interprétations de *faits bruts*. Par exemple, dans l'institution que représente une vente aux enchères, le *fait brut lever la main* est interprété comme le *fait institutionnel faire une offre*.

Un *fait brut lever la main* n'est pas toujours traduit de la même manière dans plusieurs institutions. En effet, si l'on se place dans un autre contexte, il prend une toute autre interprétation. Par exemple, dans l'institution qu'est une salle de cours, le *fait brut lever la main* correspond au *fait institutionnel demander la parole* ou encore, dans l'institution d'une séance de vote à main levée, ce fait est interprété comme le fait de *voter*.

Ainsi l'ensemble des normes constitutives sont propres à une seule institution.

3. Institution

De cela découle une forme non formelle de ces règles: *une fait brut X compte comme un fait institutionnel Y dans un contexte donné C*. Avec l'exemple de la vente aux enchères, la règle que l'on peut déduire est: "lever la main **compte comme** faire une offre dans une vente aux enchères".

De cette définition, un nouvel opérateur logique est nécessaire afin de définir formellement ces normes constitutives: l'opérateur *count-as*.

3.2. Normes constitutives

Pour qu'une institution existe, il faut pouvoir la définir via des normes constitutives. Ce sont ces normes qui vont permettre la sémantique d'une institution. De ce fait, il nous faut les définir logiquement pour définir une institution formellement.

Cela mène à la création d'un nouvel opérateur traduisant la relation *count-as* exprimée par Searle.

3.2.1. L'opérateur count-as

L'existence de deux mondes différents mais intimement liés implique la création d'une nouvelle relation afin de relier le monde brut au monde social auquel il est associé.

Pour ce faire, Searle, [J.R.SEARLE, 1969], définit le lien *count-as*: *X counts as Y in a context C*. En fait, il détermine le lien entre un *fait brut* et un *fait institutionnel* en donnant comme définition à un *fait institutionnel*, le sens d'un *fait brut* particulier pour une institution donnée.

Ce lien a été défini de façon formelle par [A.J.I.JONES et M.SERGOT, 1996]. Jones et Sergot définissent un nouvel opérateur: *count-as*, \Rightarrow_s , qui permet d'établir formellement le lien entre un *fait brut* et un *fait institutionnel* dans une institution *s* donnée. Selon eux, une norme constitutive peut être vue comme une contrainte institutionnelle.

Selon Jones et Sergot, ces règles décrivent trois relations de conséquences par le biais de la notion de *fait institutionnel*:

1. une conséquence logique,
2. une conséquence causale et
3. une conséquence déontique.

3. Institution

Cet opérateur et ce qui en découle a déjà fait l'objet de plusieurs études et critiques, [A.ARTOSI *et al.*, 2004], [G.BOEALLA et TORRE, 2004] et [J.GELATI *et al.*, 2004].

Jones et Sergot se basent sur le principe de la génération d'actions. Ce principe peut être caractérisé comme une conditionnelle: une occurrence de A, description d'action, génère l'occurrence d'une action différente B si certaines conditions sont satisfaites. Ainsi certains actes donnés comptent comme la signification du fait de créer certains états normatifs. Cette relation peut être définie comme "devoir être classifié comme". Ils appliquent ce principe sur les faits en incluant ces conditions au niveau des *faits bruts*:

$$a \Rightarrow_s b$$

où

- a représente un fait brut
- b représente un fait institutionnel
- s représente une institution donnée.

On peut étendre la définition de Searle de cet opérateur sur ces composantes. Soit L les termes de la partie gauche de cet opérateur et R ceux la partie droite:

$$a \Rightarrow_s b$$

$$L(a \Rightarrow_s b) = a$$

$$R(a \Rightarrow_s b) = b$$

En se basant toujours sur le principe de la génération d'actions, la partie L permet de créer un *fait institutionnel*. Les conditions d'apparition d'un *fait institutionnel* peuvent appartenir à la fois au monde social et au monde brut. Ainsi seule la partie R de cet opérateur appartient au monde institutionnel, la partie L pouvant faire partie du monde brut et/ou institutionnel:

$$L(a \Rightarrow_s b) \in s \cup raw$$

$$R(a \Rightarrow_s b) \in s$$

où raw représente le monde brut.

En définitive, l'opérateur *count-as* permet d'interpréter des *faits bruts* mais également des *faits institutionnels*.

3. Institution

Axiomatique L'opérateur \Rightarrow_s n'est pas défini en logique normale. Il est caractérisé par la logique conditionnelle classique. Il accepte comme fermeture l'équivalence:

$$\begin{aligned} \text{(RCEC)} \quad & b \leftrightarrow c \rightarrow ((a \Rightarrow_s b) \leftrightarrow (a \Rightarrow_s c)) \\ \text{(RCEA)} \quad & a \leftrightarrow c \rightarrow ((a \Rightarrow_s b) \leftrightarrow (c \Rightarrow_s b)) \end{aligned}$$

Il accepte comme règles la distributivité et la transitivité:

$$\begin{aligned} \text{(CC)} \quad & ((a \Rightarrow_s b) \wedge (a \Rightarrow_s c)) \rightarrow (a \Rightarrow_s (b \wedge c)) \\ \text{(CA)} \quad & ((a \Rightarrow_s b) \wedge (c \Rightarrow_s b)) \rightarrow ((a \vee c) \Rightarrow_s b) \\ \text{(S)} \quad & (a \Rightarrow_s b) \rightarrow ((b \Rightarrow_s c) \rightarrow (a \Rightarrow_s c)) \end{aligned}$$

Cet opérateur permet de définir les normes constitutives mais il ne suffit pas à définir une institution. En effet, il nous faut pouvoir savoir ce que l'institution reconnaît. Pour ce faire, la modalité D_s a été introduite par [A.J.I.JONES et M.SERGOT, 1996].

3.2.2. Modalité D_s

L'opérateur \Rightarrow_s permet de créer des *faits institutionnels* mais il ne permet pas de définir ce qui est vrai ou non dans une institution, d'où l'introduction de la modalité D_s par [A.J.I.JONES et M.SERGOT, 1996].

$D_s a$ signifie que l'institution s reconnaît a , ou encore que le *fait institutionnel* a est vrai dans s .

Tout comme \Rightarrow_s , cette modalité a déjà été étudié et critiqué dans les mêmes articles cités précédemment, [A.ARTOSI *et al.*, 2004], [G.BOEALLA et TORRE, 2004] et [J.GELATI *et al.*, 2004].

Axiomatique D_s est une modalité de type normale KD. Elle accepte comme règles:

$$\begin{aligned} \text{(K)} \quad & D_s(a \rightarrow b) \rightarrow (D_s a \rightarrow D_s b) \\ \text{(D)} \quad & D_s a \rightarrow \neg D_s \neg a \\ \text{(DD)} \quad & D_s D_s a \rightarrow D_s a \\ \text{(DP)} \quad & D_s(a \Rightarrow_s b) \rightarrow (a \Rightarrow_s b) \\ \\ \text{(SC)} \quad & (a \Rightarrow_s b) \rightarrow (a \rightarrow D_s a) \\ \text{(SD)} \quad & (a \Rightarrow_s b) \rightarrow D_s(a \rightarrow b) \end{aligned}$$

Les deux éléments logiques que nous venons de présenter permettent une définition formelle d'une institution dans sa globalité:

3. Institution

- l'opérateur \Rightarrow_s définit les normes constitutives,
- la modalité D_s en détermine l'état.

Maintenant, nous allons voir la sémantique liée à ces deux éléments afin d'en compléter notre présentation.

3.2.3. Sémantique de la relation count-as

Pour définir la sémantique de l'opérateur \Rightarrow_s , Jones et Sergot utilisent un modèle minimal conditionnel (structure de Kripke):

$$\mathcal{M} = \langle W, f_s, P \rangle$$

où W et P sont l'ensemble des mondes possibles comprenant la valuation de chaque phrase atomique de ces mondes et f_s une fonction assignant, selon une institution s , un ensemble de propositions pour toute proposition appartenant à un sous-ensemble de W pour chaque monde.

Jones et Sergot prennent comme support la proposition suivante: l'état de A compte comme la description de B . Cela permet d'établir la condition de validité du modèle:

$$\models_{\alpha}^{\mathcal{M}} A \Rightarrow_s B \text{ iff } \| B \|_{\mathcal{M}} \in f_s(\alpha, \| A \|_{\mathcal{M}})$$

Pour assurer la validité des schémas acceptés par cet opérateur, la fonction f_s admet comme contraintes:

- (cc) si $Y \in f_s(\alpha, X)$ et $Z \in f_s(\alpha, X)$ alors $Y \cap Z \in f_s(\alpha, X)$
- (ca) si $X \in f_s(\alpha, Y)$ et $X \in f_s(\alpha, X)$ alors $X \in f_s(\alpha, Y \cup Z)$
- (s) si $Y \in f_s(\alpha, X)$ et $Z \in f_s(\alpha, X)$ alors $Z \in f_s(\alpha, X)$

Avec l'introduction de la modalité D_s , le modèle de départ doit évoluer en prenant en compte une nouvelle fonction f_s^D qui, pour tout $\alpha \in W$, $f_s^D(\alpha)$ est un ensemble de propositions (sous-ensemble de W) D_s -nécessaires à α :

$$\mathcal{M} = \langle W, f_s, f_s^D, P \rangle$$

Ce nouveau modèle permet de définir la condition de validité suivante:

$$\models_{\alpha}^{\mathcal{M}} D_s A \text{ iff } \| A \|_{\mathcal{M}} \in f_s^D(\alpha)$$

3. Institution

Afin de valider les axiomes de la modalité D_s , il faut que les conditions du modèle valident:

- (dm) si $X \subseteq Y$ et $X \in f_s^D(\alpha)$ alors $Y \in f_s^D(\alpha)$
- (dci) $\bigcap f_s^D(\alpha) \in f_s^D(\alpha)$
- (dd) si $X \in f_s^D(\alpha)$ alors $\neg X \notin f_s^D(\alpha)$
- (dp) $\emptyset \notin f_s^D(\alpha)$
- (sd) si $Y \in f_s(\alpha, X)$ alors $(\neg X \cup Y) \in f_s^D(\alpha)$

Pour de plus amples informations sur l'opérateur \Rightarrow_s et sur la modalité D_s , nous vous renvoyons à l'article [A.J.I.JONES et M.SERGOT, 1996].

Dans cette section, la notion d'institution a été présentée d'une manière formelle sans pourtant l'intégrer dans un modèle quelconque. De ce fait, la section suivante est consacrée à l'intégration d'une institution dans un SMA.

3.3. Institution et SMA

Dans cette section, nous débuterons par voir les conséquences sur les agents que l'intégration d'une institution dans un SMA provoque (extension de la modalité D_s). Ensuite, nous nous concentrerons sur la définition d'une institution dans un SMA en regardant ce qui la crée et ce qui la compose.

3.3.1. Institution et croyance collective

La question qui se pose ici est de savoir si l'institution va jouer un rôle pour ce qui est de l'ordre de la croyance collective des agents qu'elle contient?

Dans la section précédente, nous avons vu que l'opérateur count-as permettait de définir l'institution en elle-même. De ce fait, la croyance collective est également touchée par ce qui est reconnu par l'institution sinon cette dernière ne serait pas.

Notation Pour faciliter l'expression des croyances collectives (tous les agents d'un même ensemble croient p), nous proposons une nouvelle notation:

$$BELC_s a \equiv \bigwedge_{i \in s} B_i a :$$

signifie que chaque agent appartenant à l'institution s croit a .

3. Institution

Pour appuyer notre thèse, nous nous basons sur le système juridique international. En droit, pour ne pas faire de l'ignorance une excuse à tout acte criminel, on utilise la doctrine: *D'Ignorantia de juris l'excusat non* ou *excusat de neminem des legis d'Ignorantia* (nul n'est censé ignorer la loi).

En effet, si un criminel avoue ne pas connaître la loi, son crime ne peut plus lui être répréhensible, car il ne savait que cela était un crime. De cela, découle le fait que tout ce qui de l'ordre des lois doit être connu par chacun et ce dès que la loi entre en vigueur (même si ce principe reste totalement utopique dans notre réalité).

Ainsi, dans un SMA, l'institution représentant l'ensemble de lois régissant l'institution, tout comme les lois pénales pour l'Homme, aucun agent n'est censé ignorer ce que reconnaît l'institution. Tout ce qui est reconnu par l'institution est donc de l'ordre de la croyance collective des agents qui appartiennent à cette institution. Cela nous donne l'axiome suivant:

$$(BE) \quad D_s a \rightarrow BELC_s a$$

Remarque Par contre, $D_s a \equiv BELC_s a$ n'est pas valide. En effet, ce n'est pas le fait que tous les agents croient une propriété qui la rend reconnue par l'institution, mais le fait qu'elle soit déclarée valide dans l'institution. Donc, s'il existe une croyance collective sur p , il faut qu'un autre fait, brut ou institutionnel, provoque sa déclaration dans l'institution pour que cette dernière reconnaisse p .

Par conséquent, avec les axiomes (BE), (SD) et (SC), nous obtenons le théorème suivant:

$$(a \Rightarrow_s b) \rightarrow (BELC_s a \wedge BELC_s b)$$

Démonstration

- (1) $(a \Rightarrow_s b)$
- (2) $(a \Rightarrow_s b) \rightarrow (a \rightarrow D_s a)$ (SC)
- (3) $(a \Rightarrow_s b) \rightarrow D_s(a \rightarrow b)$ (SD)
- (4) $(a \Rightarrow_s b) \rightarrow (D_s a \rightarrow D_s b)$ de (3) et (K)
- (5) $(a \Rightarrow_s b) \rightarrow (D_s a \wedge D_s b)$ de (2) et (4)
- (5) $(a \Rightarrow_s b) \rightarrow (BELC_s a \wedge BELC_s b)$ de (4) et (BE)

3.3.2. Fait brut et institutionnels

Au niveau des systèmes multi-agents intégrant le concept d'institution, la question qui se pose est de définir ce qu'est un *fait brut*.

3. Institution

Une solution serait de définir une influence comme étant un *fait brut*. Une influence, dans ce cas, représente la manière dont les agents vont permettre à l'institution d'évoluer. Les agents ne peuvent que communiquer des informations à l'environnement. C'est donc par les actes de communication que les agents influencent l'environnement, donc l'institution.

Selon Searle, un *fait brut* représente un fait réel et un *fait institutionnel* ce qui est de l'ordre de l'interprétation. Or la réalité (ce qui est physiquement vérifiable) est ce qui se trouve à l'extérieur du SMA. De plus, tout ce qui appartient à l'environnement est une interprétation, car il se trouve être créé à partir des informations données par les agents.

En définitive, le monde brut est celui des agents et l'institution (tout ce qui est créé) est l'environnement lui-même.

Avec le modèle AGREEN Dans AGREEN, les agents influencent l'institution par le biais de l'environnement qui regroupe tous les autres objets du SMA. L'environnement représente donc l'institution. Les actes de communication des agents passant par l'environnement sont les *faits bruts* permettant de créer et faire évoluer cette institution.

Le *count-as* est géré par l'environnement qui interprétera le *fait brut* en *fait institutionnel* car il s'agit de l'objet qui reçoit les influences des agents et qui gère ces dernières (légalité, conséquence...). Plus précisément, un *fait institutionnel* est le fait de donner la capacité de faire quelque chose. Lorsqu'un agent demande de faire quelque chose (*fait brut*), l'environnement lui donne la capacité de le faire (*fait institutionnel*).

3.3.3. Evolution de l'institution

Une institution est donc représentée par l'ensemble de ses normes constitutives (*count-as*) ainsi que par son état (ce qu'elle reconnaît à travers la modalité D_s).

Du fait qu'une institution possède un état, cela sous entend donc que cet état varie au cours du temps. Ce sont les normes qui permettent la création de *faits institutionnels*. Elles permettent donc également de créer et de rendre l'état de l'institution évolutif au cours du temps. La notion de temps intervient donc dans celle de l'institution.

Une proposition p peut être reconnue par une institution s à un instant t donné. Du fait que s a la possibilité de changer d'état, cette même proposition peut ne plus être reconnue à un instant t' ultérieur à t .

En fait, chaque proposition est reconnue par l'institution pendant un certain laps de temps, provoquant ainsi une dynamique de l'institution.

3. Institution

Le problème pour intégrer cette notion de temps vient du fait que l'institution est constituée de deux phases:

1. une phase offline: il s'agit de la phase descriptive statique qui se situe au moment de la création de l'institution;
2. une phase online: cette phase représente tout ce qui peut se produire lors de l'exécution du SMA (dynamique).

La logique de la phase offline n'est pas celle qui pose problème à proprement parler. En effet, elle peut être décrite à partir des différents éléments logiques qui ont été présentés dans ce chapitre.

Par contre, en ce qui concerne la phase online, cela se révèle être plus difficile à formaliser. En effet, une proposition n'étant reconnue que pendant un certain laps de temps par le biais de la modalité D_s , une logique opérationnelle dynamique est nécessaire.

Pour résoudre ce problème, une solution pourrait être de faire un parallèle avec le domaine des bases de données. L'état courant de l'institution serait une base de faits reconnus. Ensuite, il faudrait définir des transitions dynamiques d'un état à un autre par le biais d'événements déclencheurs.

3.3.4. Type d'institution

Par type d'institution, nous entendons qu'une institution peut se référer à une sorte de patron pour certains de ces éléments.

Prenons le cas de FIPA. Les standards de communication définis par l'organisation FIPA ne répondent pas à des lois mais sont des règles, ce qui implique le fait que ces spécifications ne sont pas une institution à part entière car ils ne comprennent pas d'état. Par contre, ils forment un ensemble de règles que les institutions des systèmes multi-agents doivent intégrer.

Les standards de communication FIPA définissent donc un patron pour les communications entre agents dans un système multi-agents. Ainsi ces standards peuvent être considérés comme un type d'institution: ils ne définissent pas une institution en elle-même mais certains de ces principes.

Dans le cas de FIPA, il s'agit de la sémantique des actes de communication qui devra être respectée. Les *faits bruts* sont directement touchés par ce principe: ces faits dans un SMA sont les communications entre agents passant par l'environnement (donc qui influencent l'institution). Ainsi cette sémantique influe sur ce qui va créer l'institution et en détermine donc une partie des règles.

3.3.5. Cas particuliers: les espaces

L'institution est donc représentée par l'environnement, l'espace "premier". La question qui se pose est de savoir si chacun des espaces inclus dans l'environnement est une institution à part entière ou juste une partie de l'institution? Cela soulève une autre question: est-ce qu'une institution peut être composée d'autres institutions, de la même manière qu'un environnement est composé d'espaces?

Un espace a comme propriété d'être opaque pour les autres (y inclus pour l'environnement). L'intérêt de diviser l'environnement en plusieurs espaces est de pouvoir répartir les calculs liés à un groupe. En fait, ce qui se passe à l'intérieur d'un espace, influences uniquement internes à ce dernier, n'intéresse en aucun cas les autres espaces. Un espace délimite une frontière dans l'environnement.

Cette répartition en espaces est purement ensembliste: elle représente une partition de l'environnement.

En fait, les espaces peuvent être vus comme délimitant des frontières dans l'environnement, tout comme le principe des frontières des pays dans notre monde. Or, par exemple, au niveau de l'économie, si un pays prend telle décision sur le plan national, cela aura des répercussions sur le pays lui-même mais également sur les autres pays en relation avec ce dernier. Par contre, les répercussions internes n'intéressent en aucun cas les autres pays, seules celles qui ont impact sur leur état ont un intérêt.

Ainsi les espaces ont la possibilité de s'influencer les uns les autres. En effet, ce qui se passe dans un espace peut influencer son espace englobant, comme dans le schéma suivant où un espace est composé d'un autre espace: un *fait institutionnel* de l'espace englobé a une répercussion sur l'état de l'espace englobant. En fait, un *fait institutionnel* de l'espace englobé compte comme un autre *fait institutionnel* dans l'espace englobant.

L'espace englobant n'est en rien concerné par ce qui se passe à l'intérieur de son espace, il ne veut connaître que le résultat de ces influences, dans le cas où il existe une interaction entre eux deux, afin de pouvoir l'interpréter.

En ce qui concerne le lien qu'il existe entre ses deux espaces, on peut interpréter cette relation comme il suit: si tel *fait institutionnel* est reconnu dans l'espace, cela compte comme tel autre *fait institutionnel* dans l'environnement (l'opérateur *count-as* permettant également d'interpréter un *fait institutionnel*).

En fait, d'un espace englobé à un espace englobant, il existe une relation qui a des conséquences logiques, causales et déontiques. La relation qui les lie est donc de l'ordre d'une norme constitutive: il s'agit d'une relation de type *count-as*. Un *fait institutionnel* dans l'espace englobé compte comme un autre *fait institutionnel* dans l'espace englobant.

3. Institution

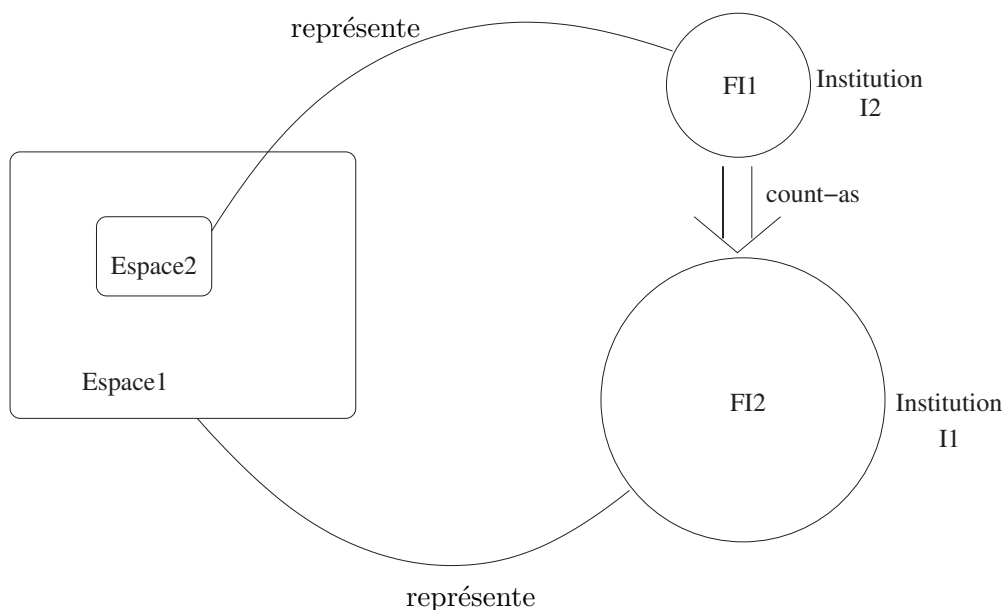


Figure 3.1.: Institution et espace appartenant à l'environnement

En définitive, un environnement représente une institution qui peut être mise en relation par le biais d'un lien *count-as* avec d'autres institutions, une pour chaque espace de l'environnement.

Remarque Sachant que $D_s a \rightarrow BELC_s a$ (si l'institution reconnaît a alors tous les agents de cette institution croient a), chaque espace est donc une institution à part entière.

En effet, dans le cas contraire, c'est-à-dire si tous les espaces ne forment qu'une seule et unique institution, la croyance collective s'applique à tous les agents du SMA et non plus seulement à ceux appartenant à chaque sous-espace, ce qui enfreint les règles de conceptualisation représentant les espaces comme des boîtes noires.

En définitive, une institution, telle que nous en avons besoin dans le domaine des SMA, est donc un état (ensemble de propriétés reconnues avec la modalité D_s) qui évolue au cours de temps (dynamisme) et un ensemble de normes constitutives (relation *count-as*). Mais sa définition ne se limite pas à cela. En effet, une institution peut se rapporter à un type, tel que FIPA, afin de se baser sur une sorte de patron pour certains de ses éléments (*faits bruts* ou *institutionnels*). De plus, une institution n'est pas isolée: elle peut être en relation, directe ou indirecte, avec une ou plusieurs institutions différentes.

4. Formalisme

Ce chapitre est consacré au formalisme des organisations. Afin de mieux le présenter, nous nous baserons sur un scénario d'une plate-forme multi-agents existante, Warbot. Une fois ce scénario présenté, le formalisme d'un rôle puis celui d'un mode seront abordés.

4.1. Scénario

4.1.1. Warbot

Afin d'illustrer ce formalisme, nous allons nous baser sur un scénario. Ce scénario porte sur l'application Warbot, s'exécutant sous Madkit, [J.FERBER *et al.*, 1998]. Par souci de simplicité, le scénario présenté ici est une version simplifiée de Warbot.

Il s'agit d'une plate-forme d'évaluation (sous forme de jeu) et d'analyse de techniques de coordination entre agents, dans une situation de compétition où deux équipes de "robots" s'affrontent pour tuer les bases de l'adversaire.

Le but de chacune des équipes est de détruire les bases de l'ennemi. La partie s'arrête lorsque toutes les bases d'une équipe sont mortes, déclarant ainsi l'autre équipe vainqueur.

Les équipes sont constituées de plusieurs robots de trois types différents:

1. les *rocketLaunchers* qui peuvent bouger et tirer des missiles sur les autres robots,
2. les *explorers* qui peuvent bouger,
3. les *bases*.

Pour attaquer, les *rocketLaunchers* lancent des missiles. Ces missiles disparaissent après un certain temps ou lorsqu'ils touchent un autre objet. Si un missile touche un robot, alors l'énergie de ce dernier se verra diminuée.

Pour l'instant, Warbot implémente le modèle AGR. Afin que celui-ci puisse être converti au modèle AGREEN, une extension est nécessaire.

4.1.2. Extension

Environnement Commençons par étendre Warbot en lui incorporant un environnement. Cet environnement est nommé l'*arène*: tout ce qui intervient dans ce jeu se trouve dans l'*arène*: les manifestations des agents, les objets tels que les missiles. Un groupe WarbotGroup est associé de manière implicite à cet environnement.

L'*arène* contient deux espaces, un pour chaque équipe. En effet, les interactions entre les membres d'une même équipe ne sont importantes qu'à l'intérieur de l'équipe, l'autre n'étant concernée seulement que par les résultats de la stratégie de son adversaire. Ces deux espaces, Team₁ et Team₂, représentent les deux groupes que constituent les équipes.

Normes régulatrices Au niveau des normes, une norme concernant les *rocketLaunchers* a été créée: un *rocketLauncher* ne peut pas rester plus de 10 unités de temps près de sa *base* sous peine de voir sa vitesse diminuer.

Normes constitutives Pour ce qui concerne les *faits institutionnels*, un fait *phase de jeu* est créé. Il peut prendre trois valeurs, une pour chaque étape du jeu: *inscription*, *jeu* et *fin*. Les agents ne peuvent demander à jouer un type de robot si et seulement si la *phase de jeu* a comme valeur *inscription*.

Afin de mieux illustrer le concept de normes constitutives (mais également de *faits institutionnel*), un nouveau type de robot est ajouté: l'*arbitre*. Il s'agit du seul rôle à pouvoir changer la valeur de la *phase*. Ce rôle n'intervenant dans aucune des équipes, il est une des composantes de l'*arène*.

Les sections suivantes présentent le formalisme des organisations que nous avons pu établir à partir de l'intégration du concept d'institution. Ce formalisme est divisé en deux parties: les rôles et les modes.

4.2. Rôle

Un rôle définit tout ce qu'un agent a comme possibilité d'action dans le monde: il décrit toutes les actions que peut faire l'agent qui l'incarne.

De ce fait, tout ce qui concerne (ou influence) le comportement de l'agent se trouve dans le rôle. Cela implique que le rôle contienne toutes les normes régulatrices lui étant relatives et les pouvoirs lui étant attribués (cela permet de donner toutes les actions qu'il est possible d'exécuter).

En plus, un rôle doit contenir tout un ensemble de normes constitutives (relation *count-as*) afin qu'il puisse s'intégrer dans l'environnement, donc dans l'institution.

4. Formalisme

D'une manière informelle, un rôle est donc composé de:

1. un nom,
2. un ensemble de normes régulatrices,
3. un ensemble de pouvoirs,
4. un ensemble de normes constitutives.

Maintenant, nous allons développer ces éléments (hormis le nom) afin de pouvoir définir ce qu'est un rôle de manière formelle.

4.2.1. Normes régulatrices

Les normes, ici, sont utilisées dans un cadre de réglementation normative. Elles permettent de donner aux agents des informations sur un idéal de comportement. Une norme a pour but d'influencer le comportement d'un agent et non de lui dicter son comportement afin de préserver le principe d'autonomie de l'agent: un agent est libre de percevoir et d'agir dans son environnement d'exécution, sans l'intervention explicite du concepteur externe. De ce fait, ces derniers sont entièrement libres de respecter ces informations ou non, cela dépendant de leur architecture mentale.

Un agent ayant la possibilité de violer ou non une norme, elle peut être suivie d'une sanction (sans que cela soit impératif) si elle n'a pas été respectée par cet agent.

Une norme porte sur un rôle précis et exprime une Permission, une Obligation ou une Interdiction: s'il se passe cela, alors il est permis/obligé/interdit de faire ceci. Elle est donc une loi sociale conditionnelle qui porte sur le comportement des agents du SMA où les conditions sont des faits et les conséquences des obligations, interdictions ou permissions portant sur des actions. Une norme est une proposition de la forme:

1. $O(a, \alpha, i) \leftarrow \text{conditions}$ pour l'obligation,
2. $P(a, \alpha, i) \leftarrow \text{conditions}$ pour la permission,
3. $I(a, \alpha, i) \leftarrow \text{conditions}$ pour l'interdiction.

où a représente le rôle auquel s'applique la norme, α l'action sur laquelle se porte la norme et i l'intervalle de temps que dure la norme.

4. Formalisme

Exemple Prenons comme exemple la norme qui s'applique sur les *rocketLaunchers*: un *rocketLauncher* ne peut pas rester plus de 10 unités de temps près de sa *base*. Cela nous donne:

$$I(\text{rocketLauncher}, \text{stayNearHome}, 10)$$

Afin de modéliser un seul rôle dans cette section, nous allons ajouter une norme régulatrice au rôle *arbitre*: un *arbitre* a l'obligation de changer la *phase de jeu* en *fin* si toutes les *bases* d'une équipe sont mortes. Cela se traduit par:

$$O(\text{arbitre}, \text{change}(\text{phase}, \text{end})) \leftarrow \text{noHomeTeam}$$

Du point de vue déontique La logique déontique modale est construite comme une extension de la logique propositionnelle classique à laquelle on ajoute un ou plusieurs opérateurs déontiques. Afin de décrire ce que peut être une obligation, une permission et une interdiction, on inclus à cette logique trois opérateurs: O, P et I. En considérant O, P et I comme des opérateurs déontiques, $O\alpha$, $P\alpha$, $I\alpha$ sont des formules valides qui ont comme traduction respective en langage naturel: il est obligatoire que α , il est permis de α et il est interdit de α .

Plusieurs relations peuvent être établies entre ces différents opérateurs:

1. I peut être défini à partir de O:

$$I\alpha =_{def} O\neg\alpha$$

2. P est le dual de O (analogie avec les opérateurs nécessaire et possible de la logique modale classique):

$$P\alpha =_{def} \neg O\neg\alpha$$

3. axiome: une obligation implique forcément la permission correspondante:

$$(D) O\alpha \Rightarrow P\alpha$$

Pour une étude plus approfondie de cet aspect, nous vous renvoyons à la thèse de Stratulat, [T.STRATULAT, 2002].

4.2.2. Pouvoirs

Un des aspects essentiels d'un système multi-agents est le fait que chaque rôle détermine comment les agents peuvent agir dans le monde. Cela se détermine par le biais de pouvoirs.

4. Formalisme

Pour la formalisation, deux manières de concevoir les pouvoirs d'un rôle sont possibles: les pouvoirs peuvent être représentés par un ensemble de \Rightarrow_s ou un ensemble de prédicats Pow dynamiques.

Dans ce rapport, nous proposons une représentation des pouvoirs par un ensemble dynamique. La solution se basant sur un ensemble de \Rightarrow_s a été présenté par [R.DEMOLOMBE, 2006], présenté brièvement en annexe A.2.

Afin qu'un agent puisse exécuter une action, donc avoir un pouvoir d'agir, il faut que certaines conditions soient validées. Par exemple, un robot n'a pas la possibilité d'avancer si un obstacle se trouve devant lui. De plus, afin d'obtenir ce pouvoir (que le pouvoir soit reconnu par l'institution), l'agent doit provoquer cette reconnaissance par un acte, notamment par un acte de communication.

Un pouvoir est un prédicat composé de quatre termes:

$$Pow(i, cond, act, p)$$

1. **i**: l'identifiant du rôle,
2. **cond**: les conditions d'acquisition du pouvoir,
3. **act**: l'acte que l'agent doit exécuté pour que l'institution reconnaisse ce pouvoir,
4. **p**: ce sur quoi porte le pouvoir (une action par exemple).

Exemple Dans Warbot, l'*arbitre*, rôle incarné par l'agent i , a le pouvoir de changer la *phase de jeu* selon l'état de la partie. Pour ce faire, il doit déclarer le changement. Trois cas sont possibles pour ce changement, ce qui donne trois pouvoirs:

1. pour changer le *phase de jeu* de la valeur *inscription* à la valeur *play*, il faut que les équipes soient constituées:

$$Pow(i, teamOK, declare, is(phase, play))$$

2. la *phase de jeu* passe de la valeur *play* à la valeur *end* si et seulement si les *bases* d'une équipe sont toutes mortes:

$$Pow(i, noHomeTeam, declare, is(phase, end))$$

3. la *phase de jeu* peut prendre comme valeur *inscription* si elle a la valeur *end*:

$$Pow(i, is(phase, end), declare, is(phase, inscription))$$

4. Formalisme

Note Avec le formalisme de [R.DEMOLOMBE, 2006]:

$$Pow(i, cond, act, p) \stackrel{def}{=} (cond \wedge done(i, act)) \Rightarrow_s p$$

Comparatif entre les deux formalisations du pouvoir Au vue des deux exemples développés dans la section suivante¹, ces deux formalismes sont équivalents. Donc, les deux possibilités, un ensemble dynamique ou un ensemble de \Rightarrow_s , peuvent tout à fait être acceptées. Mais, afin de rendre la formalisation des modes plus aisée, la solution de l'ensemble des Pow dynamiques est la plus appropriée.

4.2.3. Normes constitutives

Ces normes permettent au rôle d'être reconnu par l'institution, que ce soit au niveau de son existence ou de ses possibilités d'action.

L'ensemble \mathcal{R} de ces normes décrit le raisonnement qu'il faut appliquer afin que l'institution reconnaisse l'agent jouant le rôle R . C'est-à-dire qu'un agent ne peut être titulaire d'un rôle seulement si certaines conditions sont validées par l'institution et réciproquement, si un agent remplit toutes ces conditions alors l'institution le reconnaît comme titulaire du rôle. De plus, si l'institution reconnaît un agent comme titulaire d'un rôle, alors elle reconnaît également les pouvoirs possibles pour l'agent ainsi que les normes qui lui sont relatives.

Cet ensemble \mathcal{R} de normes constitutives est donc:

- (r1) $D_s(titulaire(R, i) \rightarrow cond(R, i))$
- (r2) $cond(R, i) \Rightarrow_s titulaire(R, i)$
- (r3) $D_s(titulaire(R, i) \rightarrow Pow(i, cond, act, p))$
- (r4) $D_s(titulaire(R, i) \rightarrow Norm(a, \alpha, i))$

En plus de règles, nous devons instaurer un axiome afin de définir la manière dont un pouvoir peut être reconnu par l'institution dans laquelle se trouve la représentation de l'agent. En effet, pour qu'un pouvoir soit reconnu par l'institution, il faut que le prédicat Pow lui étant relatif soit reconnu par l'institution. De plus, les conditions d'acquisition du pouvoir doivent être valides et l'acte qui le déclenche doit avoir été exécuté. Cela nous donne l'axiome suivant:

$$(P) \quad cond \wedge done(act) \wedge Pow_s(i, cond, act, p) \Rightarrow_s p$$

Notation Afin d'appuyer l'équivalence des deux formalismes de la notion de pouvoir ainsi que d'illustrer le raisonnement s'appliquant sur l'ensemble \mathcal{R} , nous traiterons ici des deux exemples explicités dans [R.DEMOLOMBE, 2006].

¹Ces exemples sont développés ultérieurement pour des raisons de clarté au sein du formalisme

4. Formalisme

Exemple 1 Prenons comme premier exemple le même que [R.DEMOLOMBE, 2006]: le fait qu'un agent i , qui incarne le rôle R_1 , ait le pouvoir de nommer l'agent j titulaire du rôle R_2 . Voyons comment l'institution reconnaît que j incarne R_2 .

Si un agent i est titulaire d'un rôle R_1 , alors il a la possibilité d'acquérir le pouvoir de nommer l'agent j titulaire du rôle R_2 . Du fait que l'institution reconnaisse i comme titulaire de R_1 , l'institution reconnaît également que i a le pouvoir de nommer j titulaire de R_2 .

Le fait que les conditions pour faire appliquer ce pouvoir soient valides et que l'agent i exécute l'acte act compte comme le fait que l'agent j soit titulaire de R_2 .

Ainsi, avec l'utilisation des axiomes (SD) et (SC), j est reconnu par l'institution comme titulaire de R_2 .

- (1) $D_s(\text{titulaire}(R, i) \rightarrow \text{Pow}(i, \text{cond}, \text{act}, (\text{titulaire}(j, R_2)))$
- (2) $D_s(\text{titulaire}(R, i))$
- (3) $\text{cond} \wedge \text{done}(\text{nommer})$
- (4) $\text{Pow}_s(i, \text{cond}, \text{nommer}, \text{titulaire}(j, R_2))$ de (1) et (2)
- (5) $\text{cond} \wedge \text{done}(\text{nommer}) \wedge \text{Pow}_s(i, \text{cond}, \text{nommer}, \text{titulaire}(j, R_2)) \Rightarrow_s \text{titulaire}(j, R_2)$ de (3), (4) et (P)
- (6) $D_s(\text{cond} \wedge \text{act} \wedge \text{Pow}_s(i, \text{cond}, \text{nommer}, \text{titulaire}(j, R_2)) \rightarrow \text{titulaire}(j, R_2))$ de (5) et (SD)
- (7) $\text{cond} \wedge \text{act} \wedge \text{Pow}_s(i, \text{cond}, \text{nommer}, \text{titulaire}(j, R_2)) \rightarrow D_s(\text{cond} \wedge \text{act} \wedge \text{Pow}_s(i, \text{cond}, \text{nommer}, \text{titulaire}(j, R_2)))$ de (5) et (SC)
- (8) $D_s(\text{titulaire}(j, R_2))$ de (6) et (7)

Exemple 2 Un agent a le pouvoir de donner le pouvoir à un autre agent de faire n (exemple également traité dans [R.DEMOLOMBE, 2006]).

Si l'agent i est titulaire du rôle R , alors il peut avoir le pouvoir de donner un autre pouvoir à un agent j .

L'institution reconnaît le fait que l'agent i soit titulaire de R . Ainsi le pouvoir de i est reconnu par l'institution.

De plus, le fait que cond , les conditions d'acquisition du pouvoir, soit valide et que i ait exécuté l'acte act qui lui donne ce pouvoir, compte comme le fait que l'agent j possède un nouveau pouvoir.

Ainsi l'institution reconnaît le fait que j ait un nouveau pouvoir.

4. Formalisme

- (1) $D_s(\text{titulaire}(R, i) \rightarrow \text{Pow}(i, \text{cond}, \text{act}, (\text{titulaire}(j, R_2)))$
- (2) $D_s(\text{titulaire}(R, i))$
- (3) $\text{cond} \wedge \text{done}(\text{nommer})$
- (4) $\text{Pow}(i, \text{cond}, \text{act}, \text{Pow}(j, \text{cond}t, \text{act}t, n))$ de (1) et (2)
- (5) $\text{cond} \wedge \text{act} \wedge \text{Pow}(i, \text{cond}, \text{act}, \text{Pow}(j, \text{cond}t, \text{act}t, n)) \Rightarrow_s \text{Pow}(j, \text{cond}t, \text{act}t, n)$ de (3), (4) et (P)
- (6) $D_s(\text{cond} \wedge \text{act} \wedge \text{Pow}(i, \text{cond}, \text{act}, \text{Pow}(j, \text{cond}t, \text{act}t, n)) \rightarrow \text{Pow}(j, \text{cond}t, \text{act}t, n))$ de (5) et (SD)
- (7) $\text{cond} \wedge \text{act} \wedge \text{Pow}(i, \text{cond}, \text{act}, \text{Pow}(j, \text{cond}t, \text{act}t, n)) \rightarrow D_s(\text{cond} \wedge \text{act} \wedge \text{Pow}(i, \text{cond}, \text{act}, \text{Pow}(j, \text{cond}t, \text{act}t, n)))$ de (5) et (SC)
- (8) $\text{Pow}_s(j, \text{cond}t, \text{act}t, n)$ de (6) et (7)

4.2.4. Rôle

D'après tous les éléments énoncés précédemment, un rôle est un tuple de la forme:

$$\text{Role} = \langle R, \mathcal{R}, P, N, \text{Cond} \rangle$$

où

- **R**: identifiant du rôle,
- $\mathcal{R} = \{\Rightarrow_s \mid R \in L(\Rightarrow_s) \text{ ou } R(\Rightarrow_s)\}$: l'ensemble de normes constitutives relatives au rôle,
- **P**: l'ensemble des pouvoirs relatifs au rôle,
- **N**: l'ensemble des normes régulatrices s'appliquant au rôle,
- **Cond**: l'ensemble des conditions d'entrée et d'abandon du rôle.

Exemple Le rôle *arbitre* est représenté par la tuple:

$$\text{RoleArbitre} = \langle \text{Arbitre}, \mathcal{R}, P_{\text{arbitre}}, N_{\text{arbitre}}, \text{Cond}_{\text{arbitre}} \rangle$$

avec:

- $\mathcal{R} =$ l'ensemble de normes de constitutives où R est remplacé par Arbitre,
- $P_{\text{arbitre}} = \{ \text{Pow}(i, \text{teamOK}, \text{declare}, \text{is}(\text{phase}, \text{play}))$
 $\text{Pow}(i, \text{noHomeTeam}, \text{declare}, \text{is}(\text{phase}, \text{end}))$
 $\text{Pow}(i, \text{is}(\text{phase}, \text{end}), \text{declare}, \text{is}(\text{phase}, \text{inscription}))$
 $\}$
- $N_{\text{arbitre}} = \{ O(\text{arbitre}, \text{change}(\text{phase}, \text{end})) \leftarrow \text{noHomeTeam} \}$
- $\text{Cond}_{\text{arbitre}} = \emptyset$.

4. Formalisme

Il nous paraît important d'étendre le formalisme du rôle en y incluant la notion d'héritage, comme il suit.

4.2.5. Héritage de rôle

L'héritage de rôle est possible. Il se fait par propagation des propriétés. Soit R_1 un rôle héritant du rôle R . Les conditions ainsi que les pouvoirs et les normes de R sont inclus dans les conditions, pouvoirs et normes de R_1 .

Afin de formaliser cet héritage, nous proposons la proposition suivante:

$$isA(role, superRole)$$

signifiant que $role$ hérite de $superRole$ ou encore que $role \supset superRole$.

Exemple Les *explorers* et les *rocketLaunchers* dans Warbot héritent du même rôle abstrait, *mobilBot*. Un *mobilBot* a le pouvoir de se déplacer. Du fait de $isA(explorer, mobilBot)$ et $isA(rocketLauncher, mobilBot)$, les pouvoirs des *explorers* et des *rocketLaunchers* contiennent le pouvoir de se déplacer. Au niveau des normes régulatrices, le rôle *mobilBot* n'en possède pas. De ce fait, les normes régulatrices des *explorers* et des *rocketLaunchers* ne contiendront aucune normes régulatrices relatives au rôle *mobilBot*. Pour ce qui concerne les conditions, les conditions d'incarnation et d'abandon du rôle *mobilBot* seront comprises dans les rôles *explorer* et *rocketLauncher*.

Le rôle étant de l'ordre du général, il nous faut maintenant voir ce qui relatif à la représentation d'un agent incarnant un rôle à un instant t : le mode.

4.3. Mode

Les modes sont les manifestations des agents dans l'environnement, donc également dans l'institution de ce fait.

Un mode permet de déterminer dans quel état se trouve un agent, c'est-à-dire quelles sont ses possibilités d'actions (ce qu'il peut faire à un instant t donné). En fait, les modes sont représentés par ce que reconnaît l'institution et ce qui est relatif à un agent donné d'identifiant i . Un mode est donc représenté par les pouvoirs et les normes régulatrices qui lui sont reconnus par l'institution. En fait, il s'agit de ce que reconnaît l'institution à un instant t via l'ensemble des règles \mathcal{R} du rôle.

4. Formalisme

Ainsi la relation qui lie le rôle au mode est du type Instance/Type où le type se révèle être le rôle et l'instance le mode. Il s'agit de la même relation qui lie une classe à un objet dans la programmation objet. Ainsi le rôle regroupe tout ce que peut faire un agent dans sa généralité et un mode ses possibilités à un instant t donné. L'élément commun à ces deux concepts est l'agent qui incarne un rôle et qui, de ce fait, possède un mode pour être reconnu par l'institution.

L'institution décrit la réalité du monde, non ce que les agents connaissent du monde. Les possibilités d'actions d'un agent à un moment donné sont donc forcément reconnues comme vraies par l'institution.

Par souci de minimalisme, dans le cas où il n'existe aucune ambiguïté entre le rôle et le mode d'un agent, le mode pourra être implicite. Seul le rôle de l'agent apparaîtra:

$$\forall i \in Role \quad p(i) \Rightarrow_s q$$

où

- i est l'identifiant d'un rôle,
- p un prédicat relatif au rôle,
- q un fait institutionnel.

Dans le cas contraire, lorsque deux agents incarnent le même rôle, il nous faut les différencier. Cela ne peut se faire que par le biais de mode explicite. Pour ce faire, une relation entre mode et rôle devient nécessaire:

$$mode(m, R)$$

signifie le mode m représente un agent qui incarne le rôle R .

Si l'on ajoute un deuxième agent incarnant le même rôle que le premier dans l'exemple précédent, on obtient alors:

$$\exists m_1, m_2 \mid p(m_1) \wedge p(m_2) \wedge mode(m_1, R) \wedge mode(m_2, R) \Rightarrow_s q$$

où

- m_1 et m_2 sont deux identifiants de mode,
- R est un identifiant de rôle,
- p un prédicat relatif au rôle,
- q un fait institutionnel.

4. *Formalisme*

En définitive, le concept le plus important dans l'organisation est celui de rôle. En effet, il permet de définir tout ce qu'un agent peut exécuter dans l'institution, via les normes et les pouvoirs qui lui sont relatifs.

Par souci de minimalisme, donc de simplicité, le mode, lui, n'est pas primordial. En effet, il apparaît seulement dans le cas où il y a une ambiguïté entre deux agents qui incarnent le même rôle (en faisant une référence vers le rôle incarné).

5. Extension à FIPA

Ce chapitre traite du problème des communications exclusives entre agents dans les SMA. En effet, l'interaction se réalise par communication "en cachette", seul l'émetteur et le récepteur ont la possibilité de prendre connaissance de la communication.

Nous commencerons par présenter l'organisation FIPA, ainsi que sa philosophie au niveau des actes de communication. Ensuite, nous verrons quels sont les standards développés par FIPA pour les communications entre agents.

Ces standards posent un problème au niveau de l'exclusivité d'une communication: une communication n'a d'impact que sur les agents qui sont mis en cause par cette dernière. Pour résoudre cela, nous proposons, dans une deuxième et une troisième partie, d'étendre la sémantique établie par FIPA afin de rendre les communications connues par l'ensemble des agents qui appartiennent à une même institution. Ces deux sections ont pour but de donner une meilleure visualisation des résultats souhaités en permettant une comparaison entre l'existant (les standards FIPA) et le désiré.

Enfin, dans la dernière section, nous proposons une solution à cette problématique. Il s'agit d'une nouvelle sémantique des actes, inspirée de celle de FIPA, permettant de prendre en compte le concept d'institution.

5.1. FIPA

Cette section débute avec une description de la philosophie de FIPA pour les communications entre agents. Ensuite, nous aborderons la sémantique des actes de communication en l'illustrant avec des exemples d'actes.

FIPA, Foundation of Intelligent Physical Agents, est une organisation internationale qui fixe les standards de communication pour les agents dans les systèmes multi-agent. Elle détermine les spécifications des communications des agents, [FIPA, 1996], [FIPA, 2002b] et [FIPA, 2002a].

Pour ces spécifications, FIPA se base sur la théorie de la planification selon Sadek, [D.SADEK, 1991]. Un agent a un but. De ce but découle une intention. Pour réaliser cette intention, il va avoir besoin de la coopération d'autres agents,

5. Extension à FIPA

d'où la création et l'envoi d'un message. Ce message transite par une plateforme pour arriver à l'agent destinataire.

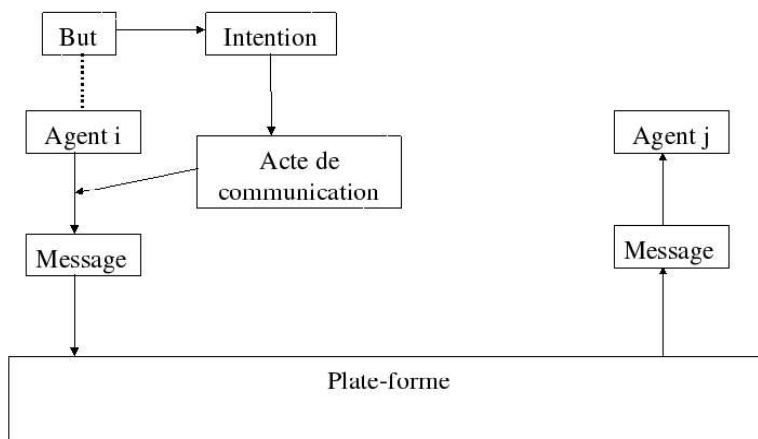


Figure 5.1.: FIPA : Principe de communication entre agents selon FIPA

Remarque Dans le modèle AGREEN, la plate-forme de transition est l'environnement, ce qui permet de vérifier que toutes les communications envoyées par des agents soient légales.

FIPA donne également une librairie d'actes de communication, [FIPA, 2002a], en définissant deux types d'actes, les primitifs (informer, confirmer, infirmer et demander) et les composites. Les actes composites se basent sur les quatre primitifs en les développant par composition ou spécialisation.

Le but de cette librairie est de donner une sémantique de base pour chaque acte de communication mais aussi de pouvoir créer d'autres actes selon nos besoins.

Au niveau de la sémantique de l'organisation, seulement deux actes en particulier nous intéressent: informer et déclarer. Ces deux actes ont pour but de changer les croyances du destinataire sur une proposition donnée (celle du contenu du message) mais ils ne s'appliquent pas dans les mêmes cas, ce que nous verrons ultérieurement.

Tout d'abord, voyons comment FIPA définit un acte de communication.

5.1.1. Acte de communication FIPA

La communication entre agents est donc primordiale dans un SMA. Or dès qu'un agent communique avec un autre, il fait un acte de communication. De ce fait, FIPA s'intéresse à ces types d'actes pour en établir un standard.

5. Extension à FIPA

Chaque message envoyé et reçu représente un acte de communication. Selon le standard FIPA, un acte de communication, dans sa forme générale, doit contenir les informations suivantes:

- Le type de message,
- L'expéditeur,
- Le destinataire,
- Le contenu du message,
- Le langage utilisé,
- La réponse requise si nécessaire,
- Le message auquel il répond si besoin.

Avec la librairie des actes de communications FIPA, [FIPA, 2002a], à chaque requête correspond un type ou un ensemble de types possibles d'acte de communication.

5.1.2. Sémantique FIPA

De la forme générale du message FIPA, la sémantique ne garde que l'expéditeur, le destinataire, le type du message, ainsi que le contenu du message.

L'expéditeur et le destinataire sont les identifiants des agents mis en cause dans l'envoi de message.

Le type du message envoyé correspond à un type d'acte de communication précis (informer par exemple). Cela regroupe implicitement la nécessité d'une réponse ou non au message. Par exemple, si le type de l'acte est de demander une référence, cela implique que le destinataire devra envoyer à l'expéditeur l'identifiant demandé, à condition qu'il le connaisse.

Le contenu du message donne toutes les informations nécessaires relatives au type de l'acte. Ces informations sont représentées par une proposition qui pourra indiquer trois natures d'informations:

1. Un fait, ex: p
2. Une action, a , ou une combinaison d'actions: soit a_1 et a_2 deux actions
 - a) $a_1; a_2 = a_2$ suit a_1
 - b) $a_1 | a_2 =$ soit a_1 , soit a_2
3. Un identifiant de référence, ex: $all/any/iota x \mid \delta(x)$

5. Extension à FIPA

Chaque acte, quelqu'il soit, ne peut être exécuté que sous certaines conditions (qui peuvent être vides) et implique des effets. Tout acte de communication est défini par un ensemble de pré-conditions (FP: pré-conditions de faisabilité) et de post-conditions (RE: effet rationnel) sur les états mentaux des agents expéditeur et receveur.

Les FP portent sur les états mentaux des agents mis en cause dans la communication: elles décrivent dans quel état doivent se trouver les agents afin que le message puisse être envoyé.

Les post-conditions transcrivent l'impact du contenu du message sur les agents en changeant leur état mental (leurs croyances en général).

Forme formelle De cette description découle la forme formelle de tout acte de communication:

$$\langle i, act(j, content) \rangle$$

FP: φ_1

RE: φ_2

L'agent i envoie à l'agent j un message de type act , un symbole unique, qui a comme contenu $content$. L'agent i peut envoyer ce message si son état mental correspond à φ_1 et le résultat de cet acte sera φ_2 .

Afin de mieux illustrer cette sémantique, nous allons présenter maintenant deux actes de communication: informer et déclarer.

5.1.2.1. Acte de communication Inform

Cet acte de communication est l'acte essentiel dans FIPA.

Il permet qu'un agent informe un autre sur une proposition. L'acte de communication correspondant est le suivant:

$$\langle inform(i(j, p)) \rangle$$

FP: $B_i p \wedge \neg B_i (B_i f_j p \vee U_i j_j p)$

RE: $B_j p$

L'expéditeur doit croire p mais également ne pas croire que le destinataire ait une quelconque croyance sur p afin de pouvoir l'informer sur p . Le résultat de cet acte est le fait que le destinataire croit p .

5.1.2.2. Acte de communication Declare

L'acte de déclarer est un acte composite qui n'est pas inclus dans la librairie FIPA. Il s'agit d'une spécialisation de l'acte informer.

Lorsqu'un agent déclare à un autre une proposition, les deux agents, aussi bien le destinataire que l'expéditeur, n'ont besoin d'aucune croyance sur cette proposition. L'effet produit vise à ce que les deux agents croient la proposition. Cela nous donne comme acte de communication:

$$\langle \text{declare}(i(j, p)) \rangle$$

FP : \emptyset

RE : $B_j p \wedge B_i p$

Ce nouvel acte de communication tire son utilité au niveau de l'institution. En effet, il permet la création de nouveaux *faits institutionnels*, comme la reconnaissance des normes. Cette partie sera vue plus en détail ultérieurement.

Cette sémantique implique le fait que chaque communication entre deux agents se déroule "en cachette", à l'insu de tous les autres agents appartenant au même espace. Avant d'aborder une nouvelle sémantique des actes, nous allons voir, à partir de la sémantique FIPA, les changements qu'il faudrait opérer à l'intérieur du standard pour annuler le côté "caché" des communications. Pour ce faire, nous proposons en premier lieu une sémantique publique pour arriver à une sémantique ayant une perspective cognitive.

5.2. Sémantique FIPA publique

Dans cette section, la sémantique FIPA est étendue pour y inclure le fait que chaque communication ne soit plus connue que par les agents expéditeur et destinataire mais connue de chacun des agents qui appartiennent au même espace que ces derniers.

Ce changement de sémantique implique également des changements au niveau des actes de communications.

En effet, les RE de chaque agent de l'institution vont être modifiés afin d'y inclure le fait que tous les agents appartenant au même espace prennent connaissance de l'exécution de cet acte.

5. Extension à FIPA

Par contre, les FP restent les mêmes car il n'est nullement besoin d'imposer une nouvelle condition afin que les autres agents puissent prendre connaissance de l'exécution de cet acte, hormis le fait qu'ils doivent en avoir la possibilité, c'est-à-dire appartenir à la même institution, donc au même espace.

Les actes de communication auront donc comme forme formelle:

$$\langle i, act(j, content) \rangle$$

$$FP : \varphi_1$$

$$RE : \varphi_2 \wedge BELC_s(Done(act(i, (j, content))))$$

L'acte de communication d'informer devient donc:

$$\langle inform_p(i(j, p)) \rangle$$

$$FP : B_i p \wedge \neg B_i(B_i f_{j p} \vee U_i j p)$$

$$RE : B_j p \wedge BELC_s(Done(inform(i, (j, p)))).$$

L'acte de déclarer change en:

$$\langle declare_p(i(j, p)) \rangle$$

$$FP : \emptyset$$

$$RE : B_j p \wedge B_i p \wedge BELC_s(Done(declare(i, (j, p))))$$

Cette sémantique publique inclut le fait que chacun des agents a la possibilité de percevoir qu'un acte a été réalisé. Par contre, elle ne permet pas à ces agents d'être influencés (pouvoir en tirer des conclusions) par le contenu ou le type du message. Pour cela, il nous faut à nouveau étendre la sémantique FIPA à une sémantique cognitive.

5.3. Sémantique FIPA cognitive

Une sémantique cognitive indique que tous les agents d'un même espace peuvent être influencés par chaque acte produit dans cet espace. Chaque agent perçoit ce que les autres agents font et en tire des conclusions.

Cette sémantique découle de la sémantique publique. Pour tout acte, seuls les RE sont modifiés en y ajoutant la croyance collective relative au contenu du message:

$$\langle i, act(j, content) \rangle$$

5. Extension à FIPA

$$\begin{aligned} FP &: \varphi_1 \\ RE &: \varphi_2 \wedge BELC_s(\varphi_2) \end{aligned}$$

L'acte informer avec cette sémantique devient:

$$\langle inform_c(i, j, p) \rangle$$

$$\begin{aligned} FP &: B_i p \wedge \neg B_i(B_i f_{j p} \vee U_i j_{j p}) \\ RE &: B_j p \wedge BELC_s(B_j p) \end{aligned}$$

Le fait de déclarer une proposition se traduit comme il suit avec une perspective cognitive:

$$\langle declare_c(i(j, p)) \rangle$$

$$\begin{aligned} RE &: \emptyset \\ FP &: B_j p \wedge B_i p \wedge BELC_s(B_j p \wedge B_i p). \end{aligned}$$

Ces deux sémantiques permettent de déterminer le résultat souhaité mais ne sont en rien une réelle solution au problème engendré par les communications. En effet, pour résoudre cela, c'est-à-dire rendre les communications publiques, il nous faut étendre la sémantique FIPA d'une autre manière, sans changer les actes de communication, afin de préserver le standard.

Ainsi, dans la prochaine section, nous proposons une solution au problème des communications exclusives. Cette nouvelle sémantique se base sur l'introduction de l'institution dans la sémantique FIPA, tout en préservant le standard. Elle permet aux agents d'établir des croyances communes sur les actes, donc au niveau de la communication.

Vu que l'environnement représente l'institution dans AGREEN et qu'il gère toutes les communications, tout acte de communication sera en mesure d'inclure une perspective publique par le biais de la croyance collective liée à l'institution.

5.4. Sémantique des actes

La notion d'acte est primordiale dans les SMA. En effet, l'institution d'un SMA évolue en fonction des influences émises par les agents et ces influences ne sont autre que les communications des agents. Ainsi ce qui se révèle important pour la sémantique des organisations vont être les actes de communication car ils permettent de définir et de faire évoluer l'institution (il s'agit des *faits bruts*).

5.4.1. Acte

Lorsqu'un agent exécute un acte, cela a des répercussions sur le monde, donc sur l'institution. Or, en réalité, la seule possibilité d'action pour un agent est de communiquer, ce qui a pour conséquence que seuls les actes de communication sont à prendre en compte au niveau des *faits bruts*.

Dans cette partie, nous nous baserons sur la sémantique donnée par FIPA pour les actes de communication: un acte ne peut être exécuté que sous certaines conditions (FP) et provoque certains effets (RE).

Lorsqu'un agent communique, cela agit sur l'état de l'institution ainsi que sur l'état mental des agents mis en cause dans cette communication pour la sémantique FIPA. Avec la perspective publique que nous voulons mettre en place, il faut que tous les agents de l'institution connaissent l'exécution d'un acte et puissent en tirer des conclusions.

Pour ce faire, nous introduisons dans la sémantique l'opérateur *count-as* pour y inclure la notion d'institution. Au vu de ce qui a été développé précédemment, l'introduction de l'institution permet une croyance collective par le biais de la modalité D_s (tout ce qui est reconnu par l'institution doit être connu des agents).

Une autre notion qui intervient dans cette sémantique est celle du temps. En effet, un acte permet de faire évoluer l'état d'une institution en validant certaines propositions ou en rejetant d'autres propositions. Cela induit le fait qu'une proposition peut être valide à un instant t et ne plus l'être à un autre instant t' . On revient donc à la problématique exprimée au niveau de l'évolution de l'institution dans la section précédente.

Ainsi, la notion de temps intervient dans la réalisation dans une action: si un agent fait un acte à un instant t , il faut que les FP de cet acte soient vraies avant t pour que l'exécution de cet acte compte comme ses effets rationnels après t :

(DO) $done(act, t) \wedge before(t, FP[act]) \Rightarrow_s after(t, RE[act])$
 où s est une institution de type FIPA.

Ainsi l'institution reconnaît les effets rationnels de l'acte après l'instant t . De ce fait, la globalité des agents de l'institution, donc appartenant au même espace, prendront connaissance des effets rationnels de chaque acte réalisé après son exécution (axiome (BE)).

L'axiome (DO) permet que toute exécution d'acte soit connue de tous les agents de l'institution en interprétant tout effet rationnel comme un *fait institutionnel*.

5. Extension à FIPA

Par exemple, si un agent i déclare à un agent j p :

$$\text{declare}(i(j, p))$$

Avec la sémantique FIPA, seuls i et j croient p . Mais, avec l'axiome (DO), nous obtenons:

- (1) $\text{done}(\text{declare}(i(j, p)), t) \Rightarrow_s \text{after}(t, B_i p \wedge B_j p)$
- (2) $D_s(\text{done}(\text{declare}(i(j, p)), t) \rightarrow \text{after}(t, B_i p \wedge B_j p))$ de (1) et (SD)
- (3) $\text{done}(\text{declare}(i(j, p)), t) \rightarrow D_s(\text{done}(\text{declare}(i(j, p)), t))$ de (1) et (SC)
- (4) $D_s(\text{after}(t, B_i p \wedge B_j p)) \wedge D_s(\text{done}(\text{declare}(i(j, p)), t))$ de (2) et (3)
- (5) $BELC_s(\text{after}(t, B_i p \wedge B_j p)) \wedge BELC_s(\text{done}(\text{declare}(i(j, p)), t))$ de (BE) et (4)

Deux nouveaux *faits institutionnels* viennent s'ajouter à l'état de l'institution: le fait que i exécute l'acte $\text{declare}(i(j, p))$ à l'instant t et le fait que i et j croient p après l'instant t sont reconnus par l'institution. De ce fait, chaque agent de l'institution croit ces deux faits.

Ainsi, les actions que sont les communications ne sont plus exclusives mais reconnues (par leur exécution, leurs pré-conditions et leurs effets rationnels) par l'institution, donc par chacun, ce qui en rend la vérification possible.

Avec cette sémantique, comme nous l'avons remarqué précédemment, nous revenons au problème de la logique linéaire temporelle dynamique. Il nous faudra donc définir les relations *before* et *after* avec un modèle temporel adéquat permettant de prendre en compte le niveau descriptif mais également le niveau dynamique de l'institution.

Un autre aspect essentiel des actes de communication est le fait que les normes sont transmises par ces actes. Ce sera donc le sujet de la prochaine section.

5.4.2. Acte et norme

Dans cette section, nous étudions les normes régulatrices relatives aux agents.

Les normes sont communiquées aux agents: un agent indique à un autre que ce dernier doit appliquer une norme.

Lorsqu'un agent communique à un autre une norme, aucune pré-condition n'est requise. Par contre, cet acte de communication doit avoir des répercussions sur les états mentaux des deux agents de la communication au minimum (sémantique FIPA) et sur l'ensemble des agents de l'espace si l'on se place dans une perspective publique.

5. Extension à FIPA

Dans notre cas, tous les agents de l'espace doivent avoir comme croyance la norme à la fin de la communication. Les intentions du destinataire restent inchangées car chaque agent doit être autonome (ce changement est dû au schéma mental de l'agent qui n'est pas lié à la conception du SMA).

Ainsi cette communication se fait par le biais de l'acte *declare*: si un agent doit respecter une norme par rapport à un autre, ce dernier lui déclare la norme à respecter:

1. **Obligation:** $oblige(i, (j, p)) \equiv declare(i, (j, O_{ij}p))$
2. **Interdiction:** $feature(i, (j, p)) \equiv declare(i, (j, F_{ij}p))$
3. **Permission:** $permission(i, (j, p)) \equiv declare(i, (j, P_{ij}p))$

où $N_{ij}p$ indique que l'agent j doit respecter la norme qui porte sur p par rapport à l'agent i .

Par exemple, un agent i oblige un autre agent j à exécuter p nous donne:

- (1) $done(oblige(i, (j, p)), t) \Rightarrow_s after(t, B_i O_{ij}p \wedge B_j O_{ij}p)$
- (2) $D_s(done(oblige(i, (j, p)), t) \rightarrow after(t, B_i O_{ij}p \wedge B_j O_{ij}p))$ de (1) et (SD)
- (3) $done(oblige(i, (j, p)), t) \rightarrow D_s(done(oblige(i, (j, p)), t))$ de (1) et (SC)
- (4) $D_s(after(t, B_i O_{ij}p \wedge B_j O_{ij}p)) \wedge D_s(oblige(i, (j, p)), t)$ de (2) et (3)
- (5) $BELC_s(after(t, B_i O_{ij}p \wedge B_j O_{ij}p)) \wedge BELC_s(oblige(i, (j, p)), t)$ de (BE) et (4)

Une fois un des ces actes exécuté, les agents mis en cause croient la norme. De plus, l'institution reconnaît cette norme par le *fait institutionnel* représentant les effets rationnels de l'acte *declare* (la norme devient donc vérifiable). De ce fait, l'ensemble des agents de l'institution a connaissance de cette norme.

En définitive, l'introduction de l'institution dans la sémantique FIPA permet de donner une perspective publique aux communications. En effet, chaque exécution d'acte de communication permet la création de plusieurs *faits institutionnels* portant sur l'exécution et les pré-conditions ainsi que sur les effets rationnels de cet acte. Ainsi, chaque agent de l'institution connaît ces effets et peut en tirer des conclusions, selon son propre schéma mental.

De plus, cette sémantique permet une vérification du comportement des agents du SMA. En effet, dès lors qu'un agent exécute un acte, les effets produits ainsi que l'exécution de l'acte sont connus de tous. Les actions sont donc vérifiables.

6. Conclusions et perspectives

A travers les différentes réflexions qui ont eu lieu lors de ce stage, une nouvelle vision de l'institution a été proposée. En fait, l'institution est représentée par l'environnement et non plus par une partie spécifique, comme dans le modèle AGRE.

Ainsi les *faits bruts* appartiennent à notre réalité, ce sont les actes de communication des agents qui transitent par l'environnement, et les *faits institutionnels* sont l'interprétation de ces actes dans l'institution, qui est l'environnement.

De plus, tout ce qui est de l'ordre de l'institution n'est plus une interprétation du monde brut uniquement. Un *fait institutionnel* peut être aussi bien l'interprétation d'un *fait brut* et/ou d'un *fait institutionnel*.

Par contre, ce mémoire montre également que la découpe du monde en deux parties, physique et sociale, comme par exemple avec AGRE, est toujours possible (même si cette découpe va à l'encontre du principe du minimalisme). En effet, vu qu'une institution n'est pas isolée, elle peut tout à fait être mise en relation avec deux autres institutions différentes, une pour la représentation du monde physique et une autre pour la représentation du monde social.

De plus, pour ce qui est du niveau organisationnel, ce formalisme a montré l'importance du rôle dans l'organisation, le groupe (qui est une institution à part entière) devenant implicite avec la notion d'espace, ainsi que le réel intérêt du monde qui est d'enlever toute ambiguïté, lorsqu'elle existe, au niveau de la manifestation des agents.

Les différents travaux effectués lors de stage ont également soulevé une problématique au niveau des standards FIPA des communications entre agents: ces communications sont exclusives, seuls les agents mis en cause dans la communication la connaissent.

Or, ce principe est un inconvénient majeur pour la vérification du fonctionnement du SMA, il nous paraît intéressant d'étendre la sémantique des actes de communication FIPA afin d'y inclure une perspective publique .

Une solution à ce problème est d'intégrer directement l'institution dans la sémantique des actes FIPA. Pour ce faire, cette sémantique tient compte de la relation *count-as* afin que tout ce qui se produise par le biais des actes, donc notamment tout ce qui est en relation avec les communications, ait une répercussion

6. Conclusions et perspectives

sur l'institution, donc sur l'état mental des agents appartenant à cette dernière (reconnaissance de l'exécution et des pré-conditions ainsi que les effets rationnels de l'acte en *faits institutionnels*).

Ce stage a également permis de soulever une problématique importante dans le domaine des systèmes multi-agents: la notion de temps. En effet, l'institution étant composée de deux phases, une online et une offline, nous avons besoin d'un modèle temporel permettant de ne pas changer de référent en passant d'une phase à l'autre. Il semblerait que les modèles logiques dont on dispose à l'heure actuelle ne sont pas adéquats avec cette spécification.

Ainsi, afin de pouvoir finir cette sémantique, un nouveau modèle linéaire temporel pourrait être créé afin de pouvoir prendre en considération tous les aspects de l'institution.

Une première approche de ce problème serait de définir un formalisme temporel basé sur l'apparition d'évènement afin de pouvoir rendre un fait annulable par un autre fait. Ce formalisme pourra s'inspirer du domaine des bases de données en considérant que l'état courant de l'institution serait une base de faits reconnus puis en définissant des transitions dynamiques d'un état à un autre par le biais d'évènements déclencheurs.

Bibliography

- [A.ARTIKIS *et al.*, 2002] A.ARTIKIS, J.PITT, et M.J.SERGOT. Animated specifications of computational societies. In *AAMAS*, pages 1053–1061, 2002.
- [A.ARTOSI *et al.*, 2004] A.ARTOSI, A.ROTOLO, et S.VIDA. On the logical nature of count-as conditionals. pages 9–34, 2004.
- [A.J.I.JONES et M.SERGOT, 1996] A.J.I.JONES et M.SERGOT. A formal characterisation of institutionalised power. *Journal of IGPL*, 4(3):429–445, 1996.
- [D.SADEK, 1991] D.SADEK. *Attitudes mentales et interaction rationnelle: vers une théorie formelle de la communication*. PhD thesis, Université de Rennes I, France, 1991.
- [FIPA, 1996] FIPA. The foundation for intelligent physical agents (fipa). 1996.
- [FIPA, 2002a] FIPA. Fipa communicative act library specification. 2002.
- [FIPA, 2002b] FIPA. Fipa sl content language specification. 2002.
- [G.BOEALLA et TORRE, 2004] G.BOEALLA et L.VAN DER TORRE. Regulative and constitutive norms in normative multiagent systems, 2004.
- [J.BAEZ *et al.*, 2006] J.BAEZ, T.STRATULAT, et J.FERBER. A unified model for physical and social environments. *Proceedings of the third Workshop on Environments for MAS (E4MAS'06@AAMAS06)*, 2006. Japan.
- [J.FERBER *et al.*, 1998] J.FERBER, O.GUTKNECHT, et F.MICHEL. The madkit project (a multi-agent development kit), 1998.
- [J.FERBER *et al.*, 2005] J.FERBER, F.ICHEL, et J.BAEZ. Agre : Integrating environments with organizations. *Environments for Multi-agent Systems*, 2005.
- [J.FERBER et O.GUTKNECHT, 1998] J.FERBER et O.GUTKNECHT. A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. In *Proceedings of ICMAS'98*, Paris, 1998.

BIBLIOGRAPHY

- [J.GELATI *et al.*, 2004] J.GELATI, A.ROTOLO, et G.GOVERNATORI. Normative autonomy and normative co-ordination: Declarative power, representation, and mandate. *Artif. Intell. Law*, 12(1-2):53–81, 2004.
- [J.HÜBNER *et al.*, 2002] J.HÜBNER, J.SICHMAN, et O.BOISSIER. Spécification structurelle, fonctionnelle et déontique d’organisations dans les sma. *Eds., JFIADSMA02, Lille, France*, pages 205–216, 2002. MATHIEU P. , MÜLLER J.-P.
- [J.R.SEARLE, 1965] J.R.SEARLE. What is a speech act? In *Philosophy in America*, éditeur Max Black, pages 615–628. Cornell University Press, Ithaca, New York, 1965.
- [J.R.SEARLE, 1969] J.R.SEARLE. *Speech acts*. Cambridge UP, 1969.
- [M.ESTEVA *et al.*, 2001] M.ESTEVA, J.A.RODRIGUEZ-AGUILAR, C.SIERRA, P.GARCIA, et J.L.ARCOS. On the formal specifications of electronic institutions. *Agent Mediated Electronic Commerce, The European AgentLink Perspective*, page 126147, 2001. London, UK.
- [M.P.SINGH, 1998] M.P.SINGH. Agent communication languages: Rethinking the principles. *Computer*, December, 1998.
- [O.GUTKNECHT, 2001] O.GUTKNECHT. *Propositions dun modèle organisationnel générique de systèmes multi-agents*. PhD thesis, Université de Montpellier II, France, 2001.
- [R.DEMOLOMBE, 2006] R.DEMOLOMBE. Normes, pouvoirs, rôles: vers une formalisation en logique. ONERA Toulouse, Vincent Louis, France Télécom R&D, 2006.
- [T.STRATULAT, 2002] T.STRATULAT. *Systèmes d’agents normatifs : concepts et outils logiques*. PhD thesis, Université de Caen, France, 2002.

A. Annexes

A.1. Brève présentation du modèle AGREEN

Le modèle AGREEN est une extension du modèle AGRE. En fait, AGREEN regroupe le monde physique et le monde social existant dans AGRE.

Les concepts d'espace, d'environnement et de mode sont les mêmes dans les deux modèles.

Par contre, AGRE se base sur le principe de Searle, [J.R.SEARLE, 1969], en séparant le monde en deux.

De e fait, l'espace est divisé en deux:

1. le **groupe** pour le monde social,
2. l'**aire** pour le monde physique.

De plus, au niveau du mode, AGRE lui donne deux spécifications:

1. **AgentInRole**: il s'agit de la manifestation de l'agent dans le monde social donc dans le groupe. Son état est déterminé par le rôle.
2. **AgentInBody**: il s'agit de l'équivalent de l'AgentInRole dans le monde physique qui est l'aire. Son état est déterminé par le *body*.

Pour une description complète de ce modèle, nous vous renvoyons à l'article [J.FERBER *et al.*, 2005].

Le schéma suivant résume ce modèle.

A.2. Formalisation du rôle par Demolombe

Pour des raisons de clarté, nous ne présenterons que brièvement les travaux de [R.DEMOLOMBE, 2006] dans cette annexe.

Demolombe définit un rôle dans une institution s comme un tuple:

$$\langle R, C, N, P \rangle$$

où

- **R**: nom du rôle,
- **C**: énoncés descriptifs, conditions pour qu'un agent soit titulaire d'un rôle R ,
- **N**: ensemble de normes "statiques",
- **P**: ensemble de normes "dynamiques": pouvoirs institutionnels.

Il définit formellement un rôle par l'ensemble des règles suivantes:

- (T1) $\forall i D_s(\text{titulaire}(i, R) \rightarrow C(i, R))$
(T2) $\forall i C(i, R) \Rightarrow_s \text{titulaire}(i, R)$
(N1) $\forall i D_s(\text{titulaire}(i, R) \rightarrow N(i, \text{cond}, \text{act}, p))$
(P1) $\forall i D_s(\text{titulaire}(i, R) \rightarrow P(a, \alpha, i))$

où

- $P(i, R)$ est l'ensemble des pouvoirs institutionnels et
- $Pow(i, \text{cond}, \text{act}, p) \stackrel{def}{=} (\text{cond} \wedge \text{done}(i, \text{act})) \Rightarrow_s p$

Les deux exemples qui suivent sont les mêmes que ceux traités dans la section 4, au niveau de la formalisation du rôle.

Exemple 1 Si i est titulaire du rôle R_1 alors i a le pouvoir de nommer j titulaire du rôle R_2 .

A. Annexes

- (1) $D_s(\text{titulaire}(i, R_1) \rightarrow \text{pouvoir}(i, s, \text{cond}, \text{proc}, \text{titulaire}(j, R_2)))$
- (2) $D_s(\text{titulaire}(i, R_1))$
- (3) $\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc})$

- (4) $D_s(\text{pouvoir}(i, s, \text{cond}, \text{proc}, \text{titulaire}(j, R_2)))$ de (1) et (2)
- (5) $D_s(\text{cond} \wedge \text{done}(i, \text{act})) \Rightarrow_s \text{titulaire}(j, R_2)$ définition
- (6) $\text{cond} \wedge \text{done}(i, \text{act}) \Rightarrow_s \text{titulaire}(j, R_2)$ de (5) et (DP)
- (7) $D_s((\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc})) \rightarrow \text{titulaire}(j, R_2))$ de (6) et (SD)
- (8) $(\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc})) \rightarrow D_s(\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc}))$ de (6) et (SC)
- (9) $D_s(\text{titulaire}(j, R_2))$ de (8) et (7)

Exemple 2 i a le pouvoir d'attribuer à j le pouvoir de créer une situation normative n :

$$\text{pouvoir}(i, s, \text{cond}, \text{proc}, \text{pouvoir}(j, s, \text{cond}', \text{proct}, n))$$

- (1) $D_s(\text{titulaire}(i, R_1) \rightarrow \text{pouvoir}(i, s, \text{cond}, \text{proc}, \text{pouvoir}(j, s, \text{cond}', \text{proct}, n)))$
- (2) $D_s(\text{titulaire}(i, R_1))$
- (3) $\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc})$

- (4) $D_s(\text{pouvoir}(i, s, \text{cond}, \text{proc}, \text{pouvoir}(j, s, \text{cond}', \text{proct}, n)))$ de (1) et (2)
- (5) $D_s(\text{cond} \wedge \text{done}(i, \text{act})) \Rightarrow_s \text{pouvoir}(j, s, \text{cond}', \text{proct}, n)$ définition
- (6) $\text{cond} \wedge \text{done}(i, \text{act}) \Rightarrow_s \text{pouvoir}(j, s, \text{cond}', \text{proct}, n)$ de (5) et (DP)
- (7) $D_s((\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc})) \rightarrow \text{pouvoir}(j, s, \text{cond}', \text{proct}, n))$ de (6) et (SD)
- (8) $(\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc})) \rightarrow D_s(\text{cond} \wedge \text{fait}(i, \text{proc}))$ de (6) et (SC)
- (9) $D_s(\text{pouvoir}(j, s, \text{cond}', \text{proct}, n))$ de (8) et (7)

Résumé Ce mémoire s’inscrit dans le cadre des travaux portant sur les systèmes multi-agents au sein du LIRMM. Nous nous préoccupons des SMA ouverts et hétérogènes, c’est-à-dire que chaque agent représente une entité autonome dont le schéma mental n’est pas accessible et qui est libre d’entrer ou du sortir du système au cours de son exécution, ce qui en rend le contrôle difficile.

Ce document a pour but de définir une sémantique des organisations de ce type de SMA. Le formalisme créé ainsi que la sémantique associée ont été développés à partir du modèle Agent-Groupe-Rôle-Environnement-Et-Normes, AGREEN, modèle qui fournit des moyens de structuration permettant de rendre plus aisé le contrôle du comportement des agents. AGREEN intègre le concept d’environnement et celui de norme, ce qui permet également l’introduction de la notion d’institution. L’institution est en fait représentée par l’environnement et donne une interprétation de chaque fait exécuté ainsi que de ses conséquences en faits institutionnels accessibles, d’où la possibilité de vérification du SMA. De ce fait, cette sémantique permet également de pallier au problème des communications exclusives entre agents (seuls l’expéditeur et le destinataire connaissent la communication) en intégrant le concept d’institution à la sémantique des actes de communication de FIPA.

Mot-clés : système multi-agents, organisation, environnement, norme, institution, fait brut, fait institutionnel, acte de communication.

Abstract This memory is related to the research concerning the multi-agents system led to the LIRMM. We are specifically concerned with the open and heterogeneous MAS, i.e. each agent represents an autonomous entity from which the mental scheme isn’t accessible and which is free to come in or to come out of the system during its execution, which makes their management difficult.

This document aims to define a semantics for the organizations of this type of MAS. The created formalism and the associated semantics are based on Agent-Group-Role-Environment-And-Standards model, AGREEN, which provides structuring tools making the management of the behavior of the agents easier. AGREEN integrates the environment concept and the norm concept, which also allows the introduction of the institution concept. Actually, the institution is represented by environment and gives an interpretation of each executed fact and its consequences in accessible institutional facts, leading to the possibility of verifying the MAS. So, this semantics makes it also possible to compensate the problem of exclusive communications between agents (just both the sender and the recipient actually know the exchange) by integrating the institution into the acts semantics of FIPA communication.

Keywords : multi-agents system, organization, environment, norm, institution, brute fact, institutional fact, communication act