

---

# Spécification structurelle, fonctionnelle et déontique d'organisations dans les Systèmes Multi-Agents

Jomi Fred Hübner\* <sup>1</sup> — Jaime Simão Sichman\* <sup>2</sup> — Olivier Boissier\*\*

\* LTI / EP / USP

Av. Prof. Luciano Gualberto, 158, trav. 3

05508-900 São Paulo, SP, Brésil

{jomi.hubner,jaime.sichman}@poli.usp.br

\*\* SMA / SIMMO / ENSM.SE

158 Cours Fauriel

42023 Saint-Etienne Cedex, France

Olivier.Boissier@emse.fr

<sup>1</sup> Support du FURB, Brazil; and CNPq, Brazil, grant 200695/01-0.

<sup>2</sup> Support partiel du CNPq, Brazil, grant 301041/95-4; et du CNPq/NSF PROTEM-CC MAPPEL project, grant 680033/99-8.

---

**RÉSUMÉ.** Dans les approches centrées organisation des Systèmes Multi-Agents, les organisations s'intéressent généralement soit au fonctionnement, soit à la structure des agents dans le système. Cependant, la combinaison de ces deux dimensions peut s'avérer bénéfique pour spécifier les organisations à condition de le faire de manière cohérente et flexible. Le modèle MOISE<sup>+</sup> – décrit dans ce papier au travers de l'exemple des robots footballeurs – vise à proposer un pas dans cette direction au travers d'une organisation considérée au travers de trois points de vue: structurel, fonctionnel et déontique.

**ABSTRACT.** In organizational centered point of view in Multiagent System, organizations normally focus either on the functioning or the structure of the agents in the system. However, addressing both aspects is a prolific approach when one wants to design or describe a MAS organization as long as to assemble them in a coherent and flexible way. The MOISE<sup>+</sup> model – described here through a soccer team example – intends to be a step in this direction since the organization is seen under three points of view: structural, functional, and deontic.

**MOTS-CLÉS :** Organisation, rôle, groupe, but collectif, relations déontiques.

**KEYWORDS:** Organization, role, group, collective goal, deontic relations.

---

## 1. Introduction

Le comportement d'un Système Multi-Agent (SMA) est issu de l'interaction des différents agents *autonomes* qui le constituent. Afin de contraindre les comportements de ceux-ci vers les objectifs globaux à satisfaire, différentes techniques sont utilisables. La spécification d'une organisation en est une parmi d'autres[GAS 01, GAR 01]. Les modèles de définition d'organisations utilisent classiquement deux points de vues : *centré agent* et *centré organization*[LEM 98]. Alors que le premier considère les agents comme étant les moteurs de la construction d'organisation, le second considère : (i) que l'organisation existe *a priori* (définie par le concepteur ou par les agents eux-mêmes) et (ii) qu'elle sert à contraindre le comportement des agents. Les modèles organisationnels sont nombreux et divers. Ainsi, au delà de cette classification, nous pouvons distinguer les modèles organisationnels qui (i) s'appuient sur les *plans globaux* (ou tâches) [SO 93, PRA 96, WEI 94] et (ii) ceux qui se focalisent sur les *rôles* [FER 98, FOX 98, HAN 00].

- Le premier groupe s'intéresse au *fonctionnement* de l'organisation, (spécification de plans globaux, politiques pour allouer des tâches aux agents, coordination pour exécuter un plan, et qualité d'un plan - temps consommé, ressources utilisées, ... -). La satisfaction des buts globaux communs est due à une sorte de mémoire organisationnelle dans laquelle sont stockés les meilleurs plans pour satisfaire les buts.
- Le deuxième groupe, en revanche, concerne la spécification d'aspects plus statiques de l'organisation : sa *structure*, i.e., rôles, relations entre eux (e.g. : communication, autorité), obligations et permissions attachées aux rôles, groupe de rôles, etc. Dans ces modèles, le but global est satisfait grâce au respect des comportements attendus attachés aux rôles que jouent les agents.

Une première tentative d'union de ces deux types de spécifications au sein d'une spécification organisationnelle a été proposée dans le modèle MOISE (Model of Organization for multi-agent Systems)[HAN 00]. Ce modèle est le point de départ des travaux exposés ici. L'un des inconvénients de ce modèle, qui a motivé les extensions présentées ici, est le manque de plan global explicite d'une part et la forte dépendance entre la structure et le fonctionnement.

Prolongeant et enrichissant ainsi l'approche proposée dans MOISE, cet article propose un modèle *centré-organisation*, appelé *MOISE<sup>+</sup>*, qui organise, autour d'une spécification structurelle, une spécification fonctionnelle reliée au schéma central par une spécification déontique pour expliciter la manière dont une organisation collabore pour satisfaire aux buts communs. Chacune de ces dimensions peut être spécifiée *indépendamment* les unes des autres.

Dans un premier temps, nous présenterons les motivations de notre démarche, puis, successivement, les différents éléments du modèle. Tout au long de ce papier, nous appuierons sur une application de robots footballeurs que nous avons développée à l'aide de ce modèle.

## 2. Motivations

Comme nous l'avons rapidement précisé en introduction les modèles organisationnels prennent en compte habituellement soit les aspects fonctionnels, soit les aspects structurels d'une organisation. La figure 1 illustre rapidement comment ces deux types de spécification permettent de contraindre le comportement des agents.

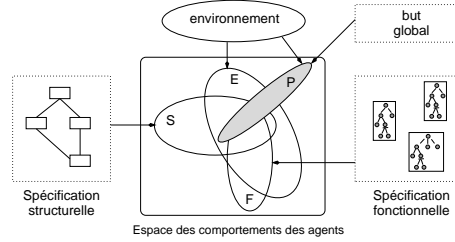


FIG. 1 – Effets de l'organisation sur un SMA

L'objectif global que cherche à satisfaire le SMA correspond à la mise en oeuvre des comportements de l'ensemble  $P$ . L'ensemble  $E$  représente tous les comportements possibles des agents dans l'environnement courant. Une spécification structurelle formée, par exemple, de rôles, de groupes, et de liens contraint les agents à mettre en oeuvre des comportements de l'ensemble  $S$ . De ce fait, les comportements possibles, étant donnés l'environnement courant et la spécification structurelle, se retrouvent dans l'ensemble  $(E \cap S)$  qui se rapproche de  $P$ . Le passage d'un comportement de  $((E \cap S) - P)$  à un de  $P$  relève du libre arbitre des agents. Afin de les aider dans cette démarche, la dimension fonctionnelle peut contenir un ensemble de plans globaux  $F$ , permettant de mettre en oeuvre les comportements de  $P$ . Par exemple, dans une équipe de robots footballeurs, on peut spécifier à la fois la structure (groupe défense, groupe attaque, chacun des groupes ayant certain rôles) et le fonctionnement de l'équipe (e.g. : stratégies comme des plans prédéfinis, validés au préalable).

Si seule la dimension fonctionnelle est spécifiée, l'organisation n'a rien à "dire" aux agents lorsqu'aucun plan ne peut être exécuté (l'ensemble des comportements possibles est en dehors de l'ensemble  $F$  représenté dans la Fig. 1). Inversement, si seule la structure organisationnelle est spécifiée, les agents doivent élaborer un plan global à chaque fois qu'ils veulent jouer ensemble. Même avec un espace de recherche réduit des plans possibles puisque la structure contraint les agents, ceci peut rester un problème difficile. De plus, les plans développés pour un problème sont perdus, puisqu'il n'y a aucune mémoire organisationnelle pour stocker les plans. Ainsi dans le contexte de certains domaines d'application, nous faisons l'hypothèse que si le modèle organisationnel spécifie les deux dimensions tout en maintenant une indépendance appropriée de ceux ci, les SMAs qui suivent un tel modèle sont plus efficaces pour satisfaire le but commun (cf. Fig. 1). Un autre avantage de cette double spécification est que les agents peuvent raisonner sur chacun des autres agents, selon ces deux dimensions afin de mieux interagir (cas du raisonnement social par exemple).

Les modèles organisationnels s'appuyant sur une vision centrée organisation (e.g., AGENT-GROUPE-RÔLE [FER 98], MOISE [HAN 00]) sont habituellement constitués de deux niveaux importants : Spécification Organisationnelle (SO) et Entité Organisationnelle (EO). Une EO est une population d'agents fonctionnant sous la contrainte d'une SO. On peut voir une EO comme une instance d'une SO, i.e., des agents *jouant* des rôles définis dans la SO (instance de rôle), agrégés dans des groupes issus de l'instanciation de groupes de la SO, et se comportant de manière normalisée dans la SO. Suivant cette démarche, un ensemble d'agents construit une EO en adoptant une SO appropriée pour satisfaire son objectif. Dans le cadre de ce papier, une SO de  $MOISE^+$  est constituée d'une Spécification Structurelle (SS), d'une Spécification Fonctionnelle (SF) et d'une Spécification Déontique (SD). Au sein de chacune de ces spécifications, nous faisons apparaître une description *statique* et une description *comportementale* relative à un ensemble de propriétés devant être respectées dans le cadre de l'EO. Chacune de ces spécifications va être présentée par la suite.

### 3. Spécification structurelle

Dans  $MOISE^+$ , comme dans MOISE, trois concepts principaux, *rôles*, *relations* entre rôles, et *groupes*, sont utilisés pour structurer un SMA selon trois niveaux : *individuel* (comportements qu'un agent doit mettre en oeuvre lorsqu'il joue un rôle), *social* (relations entre rôles), et *collectif* (aggrégation de rôles dans des structures).

$MOISE^+$  enrichit le modèle original avec des propriétés structurelles (héritage, l'inclusion de groupes) et comportementales (compatibilité, cardinalité).

**Niveau individuel :** Le niveau individuel est constitué d'un ensemble de *rôles*, noté  $\mathcal{R}_{ss}$ . Un *rôle* définit le comportement attendu d'un agent vis à vis des autres agents du système, lorsqu'il accepte de jouer ce rôle. Ce comportement attendu est défini d'une part par une étiquette faisant référence à un statut, à une responsabilité de l'application et d'autre part [CAS 96], par sa mise en relation avec d'autres rôles (dans le niveau social) et par une spécification déontique en lien avec la dimension fonctionnelle (cf. sec. 5).

Afin de simplifier la spécification<sup>1</sup>, nous introduisons, comme dans l'approche orientée objet, une *relation d'héritage* entre rôles [FOX 98]. Si un rôle  $\rho'$  hérite d'un rôle  $\rho$  (noté  $\rho \sqsubset \rho'$ ), avec  $\rho \neq \rho'$ ,  $\rho'$  hérite des propriétés de  $\rho$ , et  $\rho'$  est un sous-rôle, ou spécialisation, de  $\rho$ . Par exemple, nous pouvons définir le rôle *attacker* comme héritant du rôle *player* ( $\rho_{player} \sqsubset \rho_{attacker}$ ). Un rôle peut également être la spécialisation de plusieurs rôles. Dans la suite de ce papier, nous préciserons le comportement de cette relation vis à vis des différentes propriétés de  $MOISE^+$  que nous allons introduire.

Nous définissons un rôle *abstrait* comme un rôle qui ne peut être joué par aucun agent. Il n'est utilisé que pour la spécification d'autres rôles. L'ensemble de tous les rôles

---

1. Bien que, par la suite, nous utilisions le terme "spécification", notons que  $MOISE^+$  peut aussi être utilisé pour "décrire" une organisation.

abstrait est noté  $\mathcal{R}_{abs}$  ( $\mathcal{R}_{abs} \subset \mathcal{R}_{ss}$ ). Nous définissons également  $\rho_{soc}$ , rôle abstrait racine de l'ensemble des rôles :  $\forall_{(\rho \in \mathcal{R}_{ss})} \rho_{soc} \sqsubset \rho$ .

**Niveau social :** Alors que la relation d'héritage n'a aucune incidence directe sur le comportement attendu des agents, les relations entre rôles définies au niveau social viennent contraindre et structurer les agents en fonction des rôles qu'ils jouent. Ces relations appelées *liens* [HAN 00] sont représentées par le prédicat  $link(\rho_s, \rho_d, t)$  où  $\rho_s$  est le rôle source,  $\rho_d$  est le rôle destination, et  $t \in \{acq, com, aut\}$  est le type de lien. Lorsque le type de lien est *acq* (accointance), les agents jouant le rôle source  $\rho_s$  sont *autorisés* à *représenter* les agents jouant le rôle cible  $\rho_d$  ( $\rho_d$  agents). Dans un lien de communication ( $t = com$ ), les  $\rho_s$  agents sont *autorisés* à *communiquer* avec les  $\rho_d$  agents. Dans un lien d'autorité ( $t = aut$ ), les  $\rho_s$  agents sont *autorisés* à contrôler les  $\rho_d$  agents. Un lien d'autorité implique l'existence d'un lien de communication, qui implique lui même l'existence d'un lien d'accointance :

$$link(\rho_s, \rho_d, aut) \Rightarrow link(\rho_s, \rho_d, com) \quad [1]$$

$$link(\rho_s, \rho_d, com) \Rightarrow link(\rho_s, \rho_d, acq) \quad [2]$$

La relation d'héritage définie ci-dessus, s'applique de la manière suivante sur les liens :

$$(link(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho_s \sqsubset \rho'_s) \Rightarrow link(\rho'_s, \rho_d, t) \quad [3]$$

$$(link(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho_d \sqsubset \rho'_d) \Rightarrow link(\rho_s, \rho'_d, t) \quad [4]$$

Par exemple, si le *coach* a autorité sur le *player* via  $link(\rho_{coach}, \rho_{player}, aut)$  et que *player* est un sous-rôle ( $\rho_{player} \sqsubset \rho_{attacker}$ ), par l'eq. 4, *coach* a aussi autorité sur *attacker*. De plus, *coach* est autorisé à communiquer (eq 1) et à représenter (eq. 2) les agents jouant les rôles *player* et *attacker*.

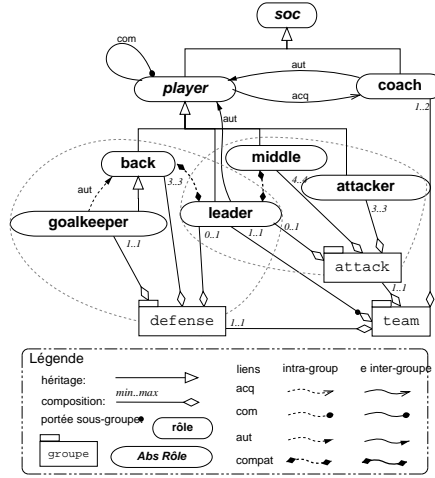
**Niveau collectif :** Comme dans [FER 98] ou [HAN 00], les rôles sont structurés en *groupes*, structure intermédiaire constituée de rôles et de sous-groupes.

Nous utiliserons le terme “groupe” pour désigner le groupe instantié dans une EO et le terme “spécification de groupe” pour désigner le groupe spécifié dans une SO. Les rôles ne peuvent être joués qu'à l'intérieur d'un groupe. Ce dernier est créé à partir d'une *spécification de groupe* définie par le n-uplet

$$gt =_{\text{def}} \langle \mathcal{R}, \mathcal{SG}, \mathcal{L}^{intra}, \mathcal{L}^{inter}, \mathcal{C}^{intra}, \mathcal{C}^{inter}, np, ng \rangle \quad [5]$$

où  $\mathcal{R}$  est l'ensemble des rôles non abstraits pouvant être joués dans les groupes créés à partir de  $gt^2$ .  $\mathcal{SG}$  désigne l'ensemble des sous-groupes de ce groupe. Si une spécification de groupe n'appartient à la définition d'aucune autre spécification de groupe  $\mathcal{SG}$ , il sera considéré comme une spécification de groupe “racine”. Au delà de cette structuration statique, le niveau collectif comporte un ensemble de spécifications ayant trait à l'instanciation de la structure : nombre de rôles et de sous-groupes pouvant être mis en oeuvre dans le système (cardinalité), compatibilité et portée des liens.

2. Comme nous pourrons avoir plusieurs spécifications de groupe, nous identifierons par la suite, les rôles attachés à une spécification de groupe  $gt$  par  $\mathcal{R}_{gt}$ .

FIG. 2 – Structure d’une équipe de robots footballeurs selon MOISE<sup>+</sup>

- **Cardinalité** : Un groupe dans l’EO sera considéré comme bien formé s’il respecte à la fois les cardinalités de rôle et de sous-groupe. La fonction partielle  $np_{gt} : \mathcal{R}_{gt} \rightarrow \mathbb{N} \times \mathbb{N}$  spécifie le nombre (minimum, maximum) de rôles qui doivent être joués dans un groupe, e.g.,  $np_{gt}(\rho_{coach}) = (1, 2)$  signifie que les groupes issus de  $gt$  doivent posséder au moins un et au plus 2 agents jouant le rôle  $coach$ . De la même manière, la fonction partielle  $ng : \mathcal{SG}_{gt} \rightarrow \mathbb{N} \times \mathbb{N}$  spécifie la cardinalité des sous-groupes. Par défaut, les cardinalités sont  $(0, \infty)$ .
- **Compatibilité** : Les liens contraignent les agents à partir du moment où ils jouent un rôle dans l’EO. La SO doit cependant pouvoir contraindre les rôles qu’un agent est autorisé à jouer étant donnés les autres rôles dont il a la responsabilité. C’est pourquoi, nous définissons une relation de *compatibilité* entre rôles qui est en rapport direct avec la dynamique et le fonctionnement de l’organisation. Elle permet d’imposer  $\rho_a \bowtie \rho_b$  que les agents jouant le rôle  $\rho_a$  sont aussi autorisés à jouer le rôle  $\rho_b$  et réciproquement (relation symétrique, réflexive, et transitive). Ainsi, par exemple, le rôle *leader* est compatible avec le rôle *back* ( $\rho_{leader} \bowtie \rho_{back}$ ). Par défaut, les rôles ne sont pas compatibles entre eux. La relation d’héritage s’applique de la manière suivante sur cette relation :

$$(\rho_a \bowtie \rho_b \wedge \rho_a \neq \rho_b \wedge \rho_a \sqsubset \rho') \Rightarrow (\rho' \bowtie \rho_b) \quad [6]$$

- **Portée** : La portée des liens définissant le niveau social est contrainte par le niveau collectif au travers de l’identification de liens internes (intra-groupe)  $\mathcal{L}^{intra}$  et de liens externes (inter-groupe)  $\mathcal{L}^{inter}$ .

Un lien intra-groupe établit que le ou les agents jouant le rôle source dans le groupe  $gr$  est relié à tous les agents jouant le rôle cible dans le même groupe  $gr$  ou dans un sous-groupe de  $gr$ .

Un lien inter-groupe établit que la portée pour un agent jouant le rôle source

porte sur *tous* les agents jouant le rôle cible indépendamment des groupes auxquels appartiennent ces agents. Par exemple, le lien  $link(\rho_{coach}, \rho_{player}, aut) \in \mathcal{L}^{inter}$ , permet à tout agent  $\alpha$  jouant le rôle  $\rho_{coach}$  de contrôler les agents jouant le rôle  $player$  ou un rôle dérivé indépendamment des groupes auxquels ils appartiennent, même si  $\alpha$  n'appartient pas à ces groupes.

De la même manière, nous restreignons la portée de la relation de compatibilité en fonction des groupes. Une compatibilité intra-groupe  $\rho_a \bowtie \rho_b \in \mathcal{C}^{intra}$  établit qu'un agent jouant le rôle  $\rho_a$  dans un groupe  $gr$  est autorisé à jouer aussi le rôle  $\rho_b$  dans le *même* groupe  $gr$  ou dans un sous-groupe de  $gr$ . Une compatibilité inter-groupe  $\rho_a \bowtie \rho_b \in \mathcal{C}^{inter}$  établit qu'un agent jouant  $\rho_a$  dans le groupe  $gr_1$  est autorisé à jouer aussi  $\rho_b$  dans un autre groupe  $gr_2$  tel que  $(gr_1 \neq gr_2)$ .

Par exemple, la spécification de groupe de défense représentée dans la Fig. 2 est ainsi définie par :

$$def = \langle \{\rho_{goalkeeper}, \rho_{back}, \rho_{leader}\}, \{\}, \{link(\rho_{goalkeeper}, \rho_{back}, aut)\}, \{\}, \\ \{\rho_{leader} \bowtie \rho_{back}\}, \{\}, \{\rho_{goalkeeper} \mapsto (1, 1), \rho_{back} \mapsto (3, 3), \rho_{leader} \mapsto (0, 1)\}, \{\{\}\} \rangle$$

Trois rôles y sont autorisés et tout groupe de défense sera bien formé si, en son sein, un seul agent joue le rôle *goalkeeper*, trois (et seulement trois) agents jouent le rôle *back*, et, éventuellement un agent joue le rôle *leader*. Le *goalkeeper* a autorité sur les rôles *back* et l'agent jouant le *leader* peut également jouer le rôle *back* ou *goalkeeper*, puisque  $\rho_{back} \sqsubset \rho_{goalkeeper}$ .

En utilisant la définition récursive d'une spécification de groupe, on peut spécifier une équipe comme :

$$team = \langle \{\rho_{coach}\}, \{def, att\}, \{\}, \{link(\rho_{player}, \rho_{player}, com), \\ link(\rho_{leader}, \rho_{player}, aut), link(\rho_{player}, \rho_{coach}, acq), link(\rho_{coach}, \rho_{player}, aut)\}, \\ \{\}, \{\}, \{\rho_{leader} \mapsto (1, 1), \rho_{coach} \mapsto (1, 2)\}, \{def \mapsto (1, 1), att \mapsto (1, 1)\} \rangle$$

Une *team* sera bien formée si elle a un groupe *def*, un groupe *att* bien formés, un ou deux agents jouant le rôle *coach*, un agent jouant le rôle *leader*. Le groupe *att* est spécifié uniquement par la notation graphique représentée dans la Fig. 2. Dans cette structure, le *coach* a autorité sur tous les *player* via un lien d'autorité inter-groupe. Les *player*, dans n'importe quel groupe, peuvent communiquer entre eux et sont autorisés à représenter le ou les agents jouant le rôle *coach*. Il doit y avoir un agent jouant le rôle *leader* soit dans le groupe *def* ou *att*. Dans le groupe *def*, le *leader* est compatible avec un rôle *back* alors que dans le groupe *att*, il est compatible avec un rôle *middle*. Le rôle *leader* a autorité sur tous les agents jouant le rôle *player* dans tous les groupes, puisqu'il a un lien d'autorité inter-groupe sur le rôle *player*. Dans ce groupe, un agent doit appartenir à seulement un des deux groupe *def* ou *att* puisqu'il n'y a pas de compatibilités inter-groupes. Nous pouvons cependant noter qu'un rôle apparait dans plusieurs spécifications de groupe (e.g., *leader*). Dans cet exemple, la cardinalité de *leader* dans le spécification de groupe *team* définie par  $np(leader) = (1, 1)$  force ce rôle à être joué par un seul agent dans un des sous-groupe de *team* (puisque le rôle *leader* n'appartient pas au groupe *team*). Dans les deux sous-groupes de *team*, le *leader* peut être joué ou non par un agent (cardinalité (0,1)) et dans ces groupe, ce rôle est compatible avec *back* ou *attacker*. Cependant, il n'est pas possible avec la spécification actuelle d'imposer que l'agent jouant le *leader*

joue également *back*, ceci pourrait s'exprimer en augmentant la cardinalité du nombre de *back*.

**Spécification structurelle :** A partir de ces définitions, la SS de l'organisation d'un SMA est constituée d'un ensemble de rôles ( $\mathcal{R}_{ss}$ ), d'un ensemble de spécifications de groupe racines (qui peuvent avoir leurs sous-groupes, e.g. la spécification de groupe *team*), et la relation d'héritage ( $\sqsubset$ ) sur  $\mathcal{R}_{ss}$ .

#### 4. Spécification Fonctionnelle

La SF dans  $\mathcal{MOISE}^+$  est structurée en différents Schéma Social (SCH), ensembles de *plans globaux*, organisés en *missions*.

**Buts collectifs :** Les plans globaux définissent des arborescences de buts *collectifs* (cf. Fig. 3 et Tab. 1) [CAS 98]<sup>3</sup>. La décomposition des buts en sous buts utilise trois opérateurs :

- *séquence* “,” : le plan “ $g_2 = g_6, g_9$ ” signifie que le but  $g_2$  sera satisfait si le but  $g_6$  puis le but  $g_9$  sont satisfaits ;
- *choix* “|” : le plan “ $g_9 = g_7 | g_8$ ” signifie que le but  $g_9$  sera satisfait si un, et seulement un, des buts  $g_7$  ou  $g_8$  est satisfait ; et
- *parallélisme* “||” : le plan “ $g_{10} = g_{13} || g_{14}$ ” signifie que le but  $g_{10}$  sera satisfait, si, à la fois,  $g_{13}$  et  $g_{14}$  sont satisfait, chacun pouvant être satisfait en parallèle.

Un *degré de succès* est attaché à chacun des plans. Par exemple, dans le plan “ $g_2 = g_6, (g_7 | g_8)$ ”, il peut exister une configuration où la satisfaction de  $g_6$  suivie de la satisfaction de  $g_7$  ou  $g_8$  n'implique pas la satisfaction de  $g_2$ . Habituellement la satisfaction du plan inscrite en partie droite implique la satisfaction du but  $g_2$ , mais dans certains contextes ceci peut ne pas se produire. Ainsi, le plan a un degré de succès exprimé par une probabilité attachée au =. Ainsi, par exemple, le plan “ $g_2 =_{0.85} g_6, (g_7 | g_8)$ ” satisfait le but  $g_2$  avec 85% de certitude. Par défaut cette valeur est de 100%.

**Missions :** Afin de spécifier le comportement attendu des agents, nous organisons les buts de ces arborescences en ensembles cohérents appelés *missions*. Celles-ci dessinent des *responsabilités* de satisfaction de buts collectifs. Par exemple, dans la Fig. 3, la mission  $m_2$  a deux buts  $\{g_{16}, g_{21}\}$ , ainsi, l'agent qui accepte  $m_2$  est engagé à satisfaire les buts  $g_{16}$  **et**  $g_{21}$ . Plus précisément, si un agent  $\alpha$  accepte une mission  $m_i$ , il s'engage à exécuter tous les buts de  $m_i$  ( $g_j \in m_i$ ) et  $\alpha$  essaiera de satisfaire un but  $g_j$  seulement lorsque la précondition du but pour  $g_j$  est vérifiée. Cette précondition est inférée de la séquence des opérateurs dans l'arbre global de décomposition de buts (e.g. : le but  $g_{16}$  de la Fig. 3 peut être déclenché seulement après que le but  $g_2$  soit satisfait ; le but  $g_{21}$  peut être testé seulement après que le but  $g_{10}$  soit satisfait).

---

3. Selon la terminologie proposée dans [CAS 98], ces buts sont des buts *collectifs* et non des *buts sociaux*. En effet, puisque nous prenons une approche centrée organisation, il n'est pas possible d'utiliser des buts sociaux qui font références aux états mentaux internes des agents.



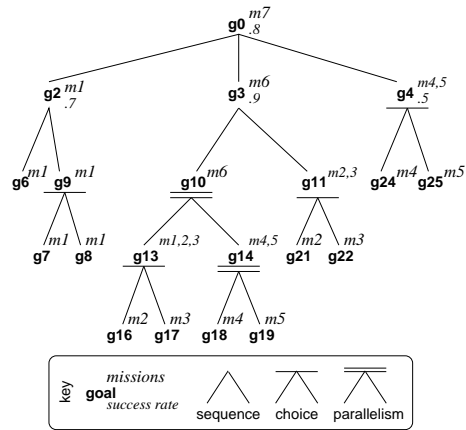


FIG. 3 – Exemple de Schéma Social

<i>but collectif</i>	<i>description</i>
$g_0$	score a soccer-goal
$g_2$	the ball is in the middle field
$g_3$	the ball is in the attack field
$g_4$	the ball was kicked to the opponent's goal
$g_6$	a teammate has the ball in the defense field
$g_7$	the ball was passed to a left middle
$g_8$	the ball was passed to a right middle
$g_9$	the ball was passed to a middle
$g_{10}$	—
$g_{11}$	a middle passed the ball to an attacker
$g_{13}$	a middle has the ball
$g_{14}$	the attacker is in good position
$g_{16}$	a left middle has the ball
$g_{17}$	a right middle has the ball
$g_{18}$	a left attacker is in a good position
$g_{19}$	a right attacker is in a good position
$g_{21}$	a left middle passed the ball to a left attacker
$g_{22}$	a right middle passed the ball to a right attacker
$g_{24}$	a left attacker kicked the ball to the opponent's goal
$g_{25}$	a right attacker kicked the ball to the opponent's goal

TAB. 1 – Description des buts de la Fig. 3

**Schéma social :** Une arborescence de buts et les missions qui lui sont attachées définissent un SCH. Le but d'un SCH correspond à la racine de l'arbre de décomposition de buts qu'il contient. Un SCH est représenté par un n-uplet  $\langle \mathcal{G}, \mathcal{M}, \mathcal{P}, mo, nm \rangle$  où  $\mathcal{G}$  est l'ensemble des buts collectifs ;  $\mathcal{M}$  est l'ensemble des étiquettes de missions ;  $\mathcal{P}$  est l'ensemble des plans globaux issus de l'arbre de décomposition de buts ;  $mo : \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{P}(\mathcal{G})$  est une fonction qui spécifie pour chaque mission l'ensemble des buts qui lui est rattaché.

Tout comme nous avons dans la SS des contraintes relative à la dynamique du système, nous définissons une *cardinalité*  $nm : \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{N} \times \mathbb{N}$  afin de spécifier les instantiation correctes d'un SCH au travers du nombre (minimum, maximum) d'agents qui peuvent s'engager sur chaque mission. Par défaut, cette paire est égale à  $(1, \infty)$ .

Par exemple, un SCH pour marquer un point dans le jeu de robots footballeurs ( $sg$ ) est (cf. Fig. 3) :

$$sg = \langle \{g_0, \dots, g_{25}\}, \{m_1, \dots, m_7\}, \{ "g_0 = .8 \ g_2, g_3, g_4", "g_2 = .7 \ g_6, g_9", \dots \}, \\ \{m_1 \mapsto \{g_2, g_6, g_7, g_8, g_{13}\}, m_2 \mapsto \{g_{13}, g_{16}, g_{11}, g_{24}\}, \dots, m_7 \mapsto \{g_0\}\}, \\ \{m_1 \mapsto (1, 4), m_2 \mapsto (1, 1), m_3 \mapsto (1, 1), \dots\} \rangle$$

Ce SCH sera bien instancié si entre un à quatre agents sont engagés dans la mission  $m_1$  et un, et au plus un, agent s'est engagé sur les autres missions. L'agent qui s'engagera sur la mission  $m_7$  est l'agent qui a la permission de créer ce SCH et de commencer son exécution puisque  $m_7$  est attachée au but  $g_0$  (racine de  $sg$ ).

**Spécification fonctionnelle :** La SF d'une organisation est l'ensemble de SCH, de préférences sur les missions des SCH :

$$FS =_{\text{def}} \langle \mathcal{S}_{fs}, \mathcal{PR}_{fs} \rangle \quad [7]$$

Les *préférences* sur les missions définissent un ordre sur les missions. Si la SF inclue  $m_1 \prec m_2$ , alors la mission  $m_1$  a une préférence sociale par rapport à la mission  $m_2$ . Si à un moment donné, un agent a la permission de s'engager sur  $m_1$  ou  $m_2$ , il doit en priorité exécuter  $m_1$ . Puisque  $m_1$  et  $m_2$  peuvent appartenir à des SCHs différents, cet opérateur peut être utilisé pour spécifier les préférences entre SCHs. Par exemple, si  $m_1$  est la mission racine d'un SCH ( $sg$ ) pour une attaque et que  $m_2$  est la racine d'un autre SCH pour le remplacement d'un joueur, alors  $m_1 \prec m_2$  signifie que  $sg$  doit être exécuté en priorité.

## 5. Spécification Déontique

La SF et la SS d'un SMA décrites dans les sections précédentes, peuvent être définies indépendamment. Cependant, notre vision des effets d'une organisation sur le fonctionnement d'un SMA, telle que nous avons pu la définir en introduction, nous amène à définir une relation entre ces spécifications. Ainsi nous introduisons dans le niveau individuel de  $\mathcal{MOISE}^+$  une relation des rôles vers les missions en terme de permissions et d'obligations.

Une permission  $per(\rho, m, tc)$  établit qu'un agent jouant le rôle  $\rho$  est autorisé à s'engager sur la mission  $m$ ,  $tc$  précise au travers d'une contrainte temporelle la validité de la permission (e.g. chaque jour/toutes les heures, le premier jour du mois, ... cf. [CAR 01] pour la description de ce langage).  $Any$  est une contrainte temporelle signifiant "à tout moment". Une obligation  $obl(\rho, m, tc)$  établit qu'un agent jouant le rôle  $\rho$  a l'obligation de s'engager sur la mission  $m$  selon la contrainte temporelle imposée par  $tc$ . Ces deux prédicats ont les propriétés suivantes : si un agent a une obligation envers une mission, il a également une autorisation envers cette mission ; les relations déontiques sont héritées de la manière suivante :

$$obl(\rho, m, tc) \Rightarrow per(\rho, m, tc) \quad [8]$$

$$obl(\rho, m, tc) \wedge \rho \sqsubset \rho' \Rightarrow obl(\rho', m, tc) \quad [9]$$

$$per(\rho, m, tc) \wedge \rho \sqsubset \rho' \Rightarrow per(\rho', m, tc) \quad [10]$$

Par exemple, une spécification déontique pour les exemples de la section précédente pourrait être :

$$\{per(\rho_{goalkeeper}, m_7, Any)\}, \{obl(\rho_{goalkeeper}, m_1, Any), \\ obl(\rho_{back}, m_1, Any), obl(\rho_{leader}, m_6, Any), obl(\rho_{middle}, m_2, Any), \\ obl(\rho_{middle}, m_3, Any), obl(\rho_{attacker}, m_4, Any), obl(\rho_{attacker}, m_5, Any)\}$$

Dans notre exemple, l'agent jouant le *goalkeeper* peut décider que le SCH  $sg$  doit être exécuté. Cet agent a ce droit du fait de la permission attachée à la mission racine  $sg$  (cf. Fig. 3). Une fois que le SCH est créé, d'autres agents (jouant  $\rho_{back}, \rho_{leader}, \dots$ ) sont obligés de participer à ce SCH. Ces agents doivent poursuivre leur buts  $sg$  aux moments permis par le SCH. Ainsi, par exemple, l'agent  $\alpha$  jouant le rôle *middle* qui s'engage dans la mission  $m_2$  essaiera d'attraper la balle (but  $g_{16}$ ) seulement après que la balle soit au milieu du terrain (but  $g_2$  satisfait).

La SD est ainsi un ensemble d'obligations et de permissions pour les agents au travers des rôles, sur le SCH, au travers de missions. Dans le contexte de la Fig. 1, la SD délimite l'ensemble  $S \cap F$ . Parmi les comportements permis ( $S$ ), un agent préférera un comportement issu de  $S \cap F$  parce que cet ensemble lui procure une sorte de pouvoir social. Si un agent commence un SCH (i.e., un comportement dans  $S \cap F$ ), il peut forcer, par la SD, d'autres agents à s'engager sur les missions de ce SCH. Notons que l'ensemble de tous les buts pour un agent ne sont pas définis par la SD, seules les relations des rôles vers des buts globaux sont définis. Les agents peuvent ainsi avoir éventuellement leurs buts locaux, éventuellement sociaux.

Etant donnée une SO, un ensemble d'agents l'instanciera afin de former une EO qui satisfait leur objectif. Une fois créée, l'EO commence à fonctionner au travers de la succession d'événements tels que entrée/sortie d'agents, création/destruction de groupes, adoption/arrêt de rôle, début/fin de SCH, engagement/désengagement de missions, etc. Cependant, malgré les similarités avec l'approche orientée objet, nous n'aurons pas de commande "new Role()" pour créer un agent pour un rôle. A notre point de vue, les agents d'un SMA sont autonomes et décident de "suivre" les règles

établies par la SO. Ils ne sont pas créés par/à partir de la spécification organisationnelle. Ils sont seulement autorisés ou non à appartenir à différents groupes et à jouer certains rôles. Ce papier ne couvre donc pas comment un agent va (ou ne va pas) suivre les normes organisationnelles qu'on lui impose. Il ne couvre pas non plus la manière dont le processus d'instanciation est réalisé, notamment comment sont mis en correspondance les compétences des agents et les comportements attendus que spécifient les rôles.

## 6. Conclusions

Dans ce papier, nous avons présenté un modèle pour spécifier une organisation dans un SMA selon une approche centrée organisation. Ce modèle propose un schéma structurel permettant de définir le comportement attendu des agents selon trois dimensions (individuelle, sociale et collective). Ce schéma structurel définit à la fois une description statique et une description dynamique relative à des contraintes d'instanciation de la structure sur les agents. Selon l'application, le comportement attendu peut être plus ou moins précisé au travers d'une spécification déontique faisant le lien avec le schéma fonctionnel, comportement de résolution attendu. Alors que dans de nombreux travaux, ces schémas sont indépendants, notre proposition permet de les assembler de manière cohérente. Un tel modèle permet une conception indépendante de chacune de ces dimensions et rend explicite la relation déontique qui existe entre eux. Deux autres schémas – interactionnel et environnemental – sont en cours de développement à partir de [HAN 00]. Le schéma interactionnel permettra de définir le comportement d'interaction en termes de protocoles et de langages, le schéma environnemental permettra enfin de définir les accès possibles à l'environnement. Nous utiliserons le même principe pour les raccrocher respectivement au niveau social et individuel du SS, que celui que nous avons utilisé pour raccrocher la SF au niveau individuel du SS.

Comme nous l'avons montré dans ce papier, nous avons utilisé le modèle *MOISE*<sup>+</sup> pour spécifier l'organisation dans le domaine des robots footballeurs. Ce modèle est également utilisé dans le domaine du commerce électronique pour exprimer et représenter des structures contractuelles dans une application de sous-traitance au sein de réseaux d'entreprises.

Cette proposition est une extension du modèle *MOISE* [HAN 00]. Nos contributions, au niveau structurel, visent à faciliter la spécification avec l'introduction d'une relation d'héritage entre rôles, et d'un point de vue dynamique avec l'introduction de contraintes d'instanciation (relation de compatibilité, de cardinalité). Au niveau fonctionnel, les contributions principales nous ont permis de faire une distinction claire entre missions et buts. Nous avons également permis l'expression de contraintes sur l'instanciation au travers de relations de préférences. Il est à noter que, la spécification fonctionnelle, pourrait, sans remettre en cause notre modèle, être remplacée par une spécification détaillée utilisant un formalisme de description de tâches à la *TÆMS* par exemple.

Même si une organisation est utile pour la satisfaction d'un objectif global, comme nous l'avons mentionné en introduction, elle peut rigidifier le système et faire perdre à un SMA sa propriété importante de flexibilité. Par exemple, si l'environnement change, l'ensemble courant des comportements attendus et permis peuvent ne plus être en adéquation avec l'objectif global. Afin de résoudre ce problème, un processus de réorganisation est nécessaire. MOISE<sup>+</sup> a été développé afin de faciliter ce processus puisque, nous pouvons, par exemple, changer la dimension fonctionnelle sans changer la structure au travers de l'ajustement de la spécification déontique. Ceci fera partie de nos travaux futurs.

## 7. Bibliographie

- [CAR 01] CARRON T., BOISSIER O., «Towards a Temporal Organizational Structure Language for Dynamic Multi-Agent Systems», *Pre-Proceeding of the 10th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'2001)*, Annecy, 2001.
- [CAS 96] CASTELFRANCHI C., «Commitments : From Individual Intentions to Groups and Organizations», ISHIDA T., Ed., *Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'96)*, AAAI Press, 1996, p. 41–48.
- [CAS 98] CASTELFRANCHI C., «Modeling Social Action for AI Agents», *Artificial Intelligence*, , n° 103, 1998, p. 157–182.
- [FER 98] FERBER J., GUTKNECHT O., «A Meta-Model for the Analysis and Design of Organizations in Multi-Agents Systems», DEMAZEY Y., Ed., *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'98)*, IEEE Press, 1998, p. 128–135.
- [FOX 98] FOX M. S., BARBUCEANU M., GRUNINGER M., LON J., «An Organizational Ontology for Enterprise Modeling», PRIETULA M. J., CARLEY K. M., GASSER L., Eds., *Simulating Organizations : Computational Models of Institutions and Groups*, Chapitre 7, p. 131–152, AAAI Press / MIT Press, Menlo Park, 1998.
- [GAR 01] GARIJO F., GÓMES-SANZ J. J., PAVÓN J., MASSONET P., «Multi-Agent System Organization : An Engineering Perspective», *Pre-Proceeding of the 10th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'2001)*, Annecy, 2001.
- [GAS 01] GASSER L., «Organizations in Multi-Agent Systems», *Pre-Proceeding of the 10th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'2001)*, Annecy, 2001.
- [HAN 00] HANNOUN M., BOISSIER O., SICHMAN J. S., SAYETTAT C., «MOISE : An Organizational Model for Multi-Agent Systems», MONARD M. C., SICHMAN J. S., Eds., *Proceedings of the International Joint Conference, 7th Ibero-American Conference on AI, 15th Brazilian Symposium on AI (IBERAMIA/SBIA'2000)*, Atibaia, SP, Brazil, November 2000, LNAI 1952, Berlin, 2000, Springer, p. 152–161.
- [LEM 98] LEMAÎTRE C., EXCELENTE C. B., «Multi-Agent Organization Approach», GARIJO F. J., LEMAÎTRE C., Eds., *Proceedings of II Iberoamerican Workshop on DAI and MAS*, Toledo, Spain, 1998.
- [PRA 96] PRASAD M. N., DECKER K., GARVEY A., LESSER V., «Exploring Organizational Design with TÆMS : A Case Study of Distributed Data Processing», ISHIDA T., Ed., *Pro-*

*ceedings of the 2nd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'96)*, AAAI Press, 1996, p. 283–290.

[SO 93] SO Y., DURFEE E. H., «An Organizational Self-Design Model for Organizational Change», *AAAI93 Workshop on AI and Theories of Groups and Organizations*, 1993.

[WEI 94] WEISSG., «Some studies in distributed machine learning and organizational design», rapport n<sup>o</sup> FK1-189-94, 1994, Institut für Informatik, Technische Universität München.