

Un Modèle d'Interaction fondé sur l'Observation d'Espaces Partagés

Franck Gaultier Philippe Beaune
gaultier@emse.fr beaune@emse.fr

École Nationale Supérieure des Mines
42100 Saint-Etienne, France

Résumé :

Nous nous intéressons aux systèmes constitués d'agents hétérogènes, qui interagissent en manipulant des objets partagés. Ce genre de situations est courant dans les applications groupware centrées autour d'espaces de travail. Pour modéliser les agents logiciels de tels systèmes et leurs mécanismes de coordination, nous proposons une architecture s'appuyant sur le concept d'opportunité. Une opportunité pour un agent, c'est un schéma particulier d'événements dans les espaces de travail, dont l'occurrence marque la possibilité de poursuivre un but jusqu'à alors suspendu. La création ou la suppression d'opportunités d'une part (par modification des espaces de travail) et la détection de ces opportunités d'autre part (par observation des espaces de travail) constitue le mode principal d'interaction des agents.

Mots-clés : SMA, Interaction, Observation, Ambiants Mobiles

Abstract:

We consider systems of heterogeneous agents interacting through the handling of objects in some shared repositories. Such situations may for instance arise in groupware applications. We used the paradigm of opportunity for modelling software agents in such systems and the associated coordination mechanisms. Basically, opportunities refer to specific event patterns occurring in the shared repositories and they make it possible for agents to pursue some of their suspended goals. The modifications of shared repositories on the one hand and the observation of their resulting effects on the other hand is the way interactions occur.

Keywords: MAS, interaction, Observation, Mobile Ambients

1 Introduction

Nous nous intéressons à des systèmes dans lesquels des agents humains et des agents logiciels interagissent au travers de la manipulation d'objets dans des espaces de travail partagés et distribués. De telles situations sont courantes dans les applications groupware. Dans ces systèmes, les agents logiciels encapsulent les outils spécifiques du domaine d'activité, ou bien assistent l'utilisateur ou les activités de groupe. Le domaine d'application auquel nous nous intéressons plus spécifiquement et pour lequel nous envisageons de concevoir un collecticiel en adoptant une approche agent est l'ECD ou Extraction de connaissances à partir de données. Une des caractéristiques des processus d'ECD c'est

qu'ils sont *dirigés par les données* : certaines activités, certains objectifs sont susceptibles d'apparaître de façon complètement opportuniste, justifiés par l'occurrence d'événements particuliers et relatifs aux produits partiels de l'extraction. Nous avons donc décidé d'étudier les mécanismes, au niveau de l'agent, du système multi-agent et de l'interaction, capables d'assurer une *coordination par opportunités* des actions des agents dans un espace d'objets partagés.

Dans cet article, nous présentons un modèle d'interaction possédant les caractéristiques suivantes : le médium de l'interaction est l'espace partagé, les actions réciproques naissent de la rencontre d'une modification de l'espace et de l'observation du changement produit. Nous commençons par exposer l'architecture des espaces partagés, lieux des interactions ; ensuite nous introduisons brièvement l'idée de coordination par opportunités et une définition d'opportunité dans des espaces partagés. Enfin nous abordons les deux dernières composantes de notre modèle d'interaction, à savoir le modèle d'action dans les espaces partagés et l'observation de ces mêmes espaces. Nous montrons également en quoi ce modèle d'interaction est adapté à la mise en oeuvre d'une coordination par opportunités.

2 Les espaces de travail

Les espaces de travail constituent l'environnement dans lequel évoluent les agents ; son architecture s'inspire de résultats de certaines recherches en groupware, lesquelles formulent des recommandations pour la conception de collecticiels et en particulier des espaces de production. Y figurent la nécessité de pouvoir structurer dynamiquement l'espace de production en sous-espaces distribués et indépendants, ainsi que la nécessité de pouvoir associer des droits d'accès aux espaces. Un espace de travail est à rapprocher d'un espace de production, c'est une sorte de dépôt dédié à l'accomplissement d'une tâche donnée et contenant tous les objets initiaux, intermédiaires ou terminaux utilisés ou

produits lors de cette activité.

Les espaces partagés sont organisés en hiérarchies d'espaces et de sous-espaces. L'environnement des agents est donc formé par une forêt d'espaces de travail. Nous assimilons également les objets à des espaces mais d'un type particulier puisque qu'ils sont nécessairement des feuilles de la structure précédente. C'est également une caractéristique des espaces de travail dits *personnels*. Les espaces qui ne sont ni personnels, ni des objets sont eux dits *communs*. Chaque espace de travail personnel (EP) est associé à un agent unique, lui seul est autorisé à y déposer des objets. Ces espaces constituent les seules interfaces de chaque agent avec son environnement. Ils sont également l'empreinte de chaque agent dans l'environnement, i.e. la trace visible pour les autres agents de sa présence en un lieu donné. Le nombre d'EP n'étant pas limité à un par agent, nous admettons une forme d'ubiquité des agents dans l'environnement.

Les espaces communs (EC) sont les espaces de travail tels que nous les avons décrit précédemment : ils contiennent des objets, des sous-espaces, et chacun est dédié à l'accomplissement d'un but donné. La hiérarchie des espaces et sous-espaces communs traduit la hiérarchie issue de la décomposition des buts en sous-buts. Enfin, chaque espace, quelque soit son type, possède un identifiant que nous supposons unique.

La figure 1 propose un exemple d'environnement, décrit suivant deux points de vue différents. Dans un cas on ne décrit que la structure logique des espaces partagés, qui forment un arbre. Dans l'autre on met en lumière une structure physique possible qui souligne la distribution et l'indépendance des espaces. Un EC nommé CWS1 contient deux sous-espaces communs (CWS2 et CWS3), un espace personnel identifié par PWS1 et deux objets (O1 et O2). La figure expose par ailleurs les propriétés statiques de chaque type d'espace. Les objets sont caractérisés par : un identifiant, un identifiant d'agent (l'agent qui a créé l'objet), un type et la liste des objets qui ont été utilisés lors de sa construction. Les EC sont eux essentiellement caractérisés par une formule qui décrit le but dont ils servent l'accomplissement.

Les modifications de l'environnement, sous l'action des agents, se traduisent toutes par des modifications de la structure de la forêt d'espaces : des espaces sont créés, d'autres détruits, d'autres enfin migrent. Les activités des

agents se traduisent donc par une évolution de la structure de l'environnement. Et inversement, cette évolution de la structure est la représentation utilisée pour modéliser l'activité du système. Les actions possibles dans l'environnement pour un agent sont les suivantes (elles sont traitées en détail dans une section ultérieure) : déposer un nouvel objet, créer ou dissoudre un EC, dupliquer ou déplacer un EP, communiquer un identifiant d'espace, accorder ou demander certains droits.

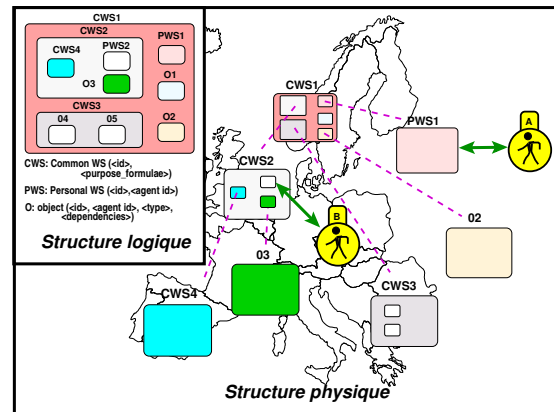
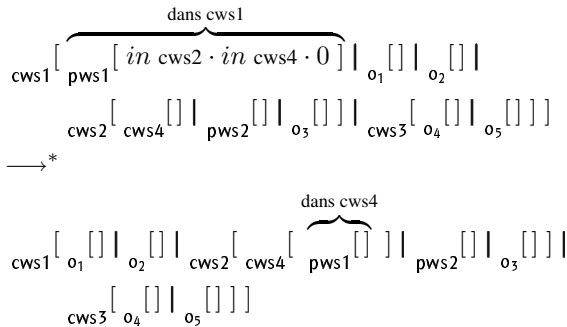


FIG. 1 – Un exemple d'espaces partagés

Notre architecture d'espaces de travail partagés a également fait l'objet d'une formalisation. Nous avons choisi d'employer un formalisme utilisé dans les communautés de la recherche en informatique distribuée et parallèle, le calcul des ambients mobiles [3]. Il s'agit d'un formalisme conçu pour décrire des processus mobiles, il permet par exemple de spécifier et de vérifier des protocoles pour déplacer de façon sécurisée des agents mobiles d'un site à un autre au travers d'un pare-feu. Un ambient est un lieu identifié par un nom, où peut s'exécuter un processus. Une formule du calcul des ambients mobiles décrit une forêt d'ambients et de sous-ambients. Par exemple, dans la formule suivante $a [P \mid Q \mid _] _ b [_]$, un ambient a contient deux processus P et Q en parallèle ainsi qu'un sous-ambient b. La sémantique opérationnelle du calcul, donnée au travers de la définition d'une relation de réduction (notée \rightarrow) permet de décrire les évolutions temporelles de la structure spatiale (la forêt). Les modifications de la structure sont déclenchées par les processus et contrôlées par des capacités qui peuvent être communiquées entre processus. Par exemple, l'arbre d'ambients de profondeur un $a [P \mid open _ b \cdot 0 \mid _]$ peut se transformer en l'arbre de profondeur zéro $a [P]$ sous l'action de la capacité *open* _b du processus

$open\ b \cdot 0$.

La formalisation des espaces partagés avec le calcul des ambiants ne soulève pas trop de difficultés ; en abrégé : les arbres d'espaces de travail sont représentés par des arbres d'ambiants, les actions possibles dans l'environnement sont implémentées par des processus spécifiques capables de produire les modifications adéquates dans la structure des arbres d'ambiants. Si l'on reprend l'exemple de la fig. 1, une représentation possible est décrite par la première des deux formules suivantes :



La migration de l'espace pws1 de l'EC CWS1 vers CWS4 peut se traduire par l'existence du processus $in\ cws2 \cdot in\ cws4 \cdot 0$ dans pws1, qui par son action entraîne les modifications de structure visibles dans la deuxième formule ci-dessus.

3 Coordination par opportunités

Dans cette section, nous décrivons les caractéristiques principales de notre modèle de coordination par opportunités. Nous commençons par donner une définition pour les concepts d'opportunité et d'agents opportunistes, avant de les utiliser dans la définition de notre modèle de coordination.

Le comportement opportuniste a été étudié et décrit dans un certain nombre de travaux issus de la recherche en sciences cognitives. Nous en avons tiré une définition simple du concept d'opportunité et plus proche de la pratique informatique.

Une opportunité pour un agent donné, est un état partiel de son environnement qui lui permet de poursuivre un but ¹ suspendu, auquel il associe une utilité certaine.

Les buts suspendus d'un agent [6] sont les buts qui ne peuvent être satisfaits dans la situation

¹Le terme but doit être ici compris dans le sens usuellement adopté dans la communauté SMA [2]

courante et dont l'adoption éventuelle est différée. Dans notre contexte, l'état partiel de l'environnement, dont il est question dans la définition précédente correspond à une configuration particulière des espaces partagés de travail. Nous donnons à la fin de cette section une idée plus précise de la façon dont nous définissons une opportunité dans un ensemble d'espaces partagés. Nous passons maintenant à la définition du concept d'agent opportuniste.

Un agent opportuniste est un agent qui profite systématiquement de l'opportunité qu'il croît la plus utile.

Le comportement opportuniste est donc le résultat d'une capacité mnésique et d'un raisonnement utilitaire [6].

Lorsque l'on conçoit un modèle de coordination pour systèmes multi-agents, il convient d'identifier deux points essentiels : les hypothèses quant aux architectures des agents (par exemple la possibilité de communiquer, la connaissance d'un protocole d'appel d'offre, la capacité à mettre en oeuvre une stratégie de négociation, etc.) et le niveau auquel opèrent les mécanismes de coordination. Tout d'abord, la coordination peut-être réalisée localement au niveau agent : chaque agent coordonne ses actions avec celles des autres. C'est la cas avec les mécanismes de synchronisation ou d'appels d'offres. Enfin la coordination peut-être envisagée à un niveau global, au niveau multi-agent : les actions dans le système sont contraintes de sorte à satisfaire une fonction d'utilité donnée (c'est la cas de la coordination par planification centralisée). Notre modèle de coordination fait deux hypothèses principales sur l'architecture des agents : nous considérons que le comportement des agents est assimilable à un comportement opportuniste et que les agents peuvent posséder des croyances sur les opportunités potentielles des autres agents. Enfin, notre modèle opère aux deux niveaux évoqués précédemment :

- Localement tout d'abord, les actions d'un agent en modifiant l'environnement peuvent avoir pour effet de créer ou au contraire de supprimer une ou des opportunités pour un autre agent. Un agent peut utiliser cette propriété afin d'encourager la contribution d'autres agents ou au contraire de s'assurer de leur non intervention.
- Au niveau du système multi-agent, il est également possible dans une certaine mesure de

maîtriser globalement les opportunités, moteur de l'action, en limitant globalement les ressources (en temps, en espace ...) octroyées aux activités opportunistes.

Nous donnons maintenant une définition plus précise des opportunités qui nous intéressent. Nous notons Λ l'ensemble des identifiants d'espaces et A l'ensemble des identifiants d'agents.

Une opportunité dans l'espace $\epsilon \in \Lambda$ pour l'agent $a \in A$, est une double formule, dont une partie décrit certaines propriétés statiques du sous-arbre de racine ϵ et l'autre décrit les propriétés spatiales et temporelles de ce même sous-arbre.

Puisque les activités des agents sont visibles dans l'environnement (comme modification de la structure des espaces partagés), les opportunités peuvent également porter sur des schémas d'activité des autres agents. Dans la prochaine section, nous introduisons les langages utilisés pour les formules de la définition précédente.

4 Le modèle d'interaction

La première caractéristique d'un modèle d'interaction supportant la mise en oeuvre d'une coordination par opportunités, doit être de permettre aux agents du système de reconnaître les opportunités créés par les autres. La solution la plus naturelle, est de permettre aux agents de s'observer les uns les autres, d'où l'idée d'un espace d'action partagé où l'activité de chaque agent est observable, car produisant des modifications caractéristiques dans la structure de l'espace partagé. Les propriétés statiques des espaces partagés (cf. fig. 1) représentent le deuxième élément (avec les modifications de structure) qui nous permet de mettre en oeuvre l'observation. La solution de l'observation, présente d'autres avantages : l'agent à l'origine de la création d'une opportunité ne doit pas nécessairement connaître les agents potentiellement intéressés par cette opportunité, il n'est même pas nécessaire qu'il sache que ses actions ont produit une opportunité pour un (des) agent(s) dans le système. Enfin l'observation présente l'avantage d'être un mécanisme envisageable même dans un système d'agents hétérogènes.

4.1 Un langage d'action

Nous avons défini un langage d'action pour formaliser les actions possibles d'un agent dans

son environnement. Il s'agit d'une extension du langage de processus défini pour les ambients mobiles [3]. Un agent ne peut agir que par l'intermédiaire des EP qui lui sont associés. Dans la fig. 1, par exemple, l'agent B ne peut agir directement dans l'espace CWS3 (il doit d'abord déplacer son EP hors de CWS2 puis dans CWS3). Chacune des actions présentées dans la fig. 2 dans (un style b.n.f.) est implicitement liée à un EP, cet espace est le lieu de l'action.

```

Action ::= new obj_id "(" (obj_id(, obj_id)*)? ")" : "obj_type
new proj_id "(" goal ")"
in proj_id | out proj_id | open proj_id
delete obj_id | release obj_id
clone | finish
say obj_id " : "obj_type (to agent_id)+
say proj_id " : "goal (to agent_id)+
ask obj_id " : "obj_type
ask proj_id " : "goal
grant Cap (to agent_id)+ | request Cap
Cap ::= in (proj_id | obj_id) | out (proj_id | obj_id)
open (proj_id | obj_id)

```

FIG. 2 – Syntaxe du langage d'action

Les actions peuvent être classées en quatre catégories :

Les déplacements de l'espace personnel :

Les primitives *in*, *out*, *clone* permettent respectivement de déplacer l'EP courant vers un nouvel EC, extraire l'EP courant de l'EC auquel il appartient, créer un nouvel EP pour l'agent dans l'EC courant.

Les productions & suppressions d'espaces :

Les primitives *new*, *open*, *delete* et *release* assurent respectivement, l'ajout d'un nouvel objet dans l'EP ou la création d'un nouvel EC, la dissolution d'un EC voisin, la suppression d'un objet voisin, le transfert d'un objet contenu dans l'EP vers l'extérieur.

Les échanges d'identifiants d'espaces :

Les actions *say* et *ask* permettent d'échanger des identifiants d'espaces. Il s'agit d'une communication asynchrone semblable à celle du système Linda.

Les échanges de droits :

grant et *ask* sont semblables aux deux primitives précédentes, mais elles concernent l'échange de droit d'accès.

A ce langage, nous avons naturellement associé une sémantique dénotationnelle en terme de

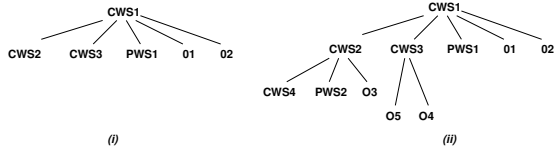


FIG. 3 – Observation locale vs. globale

processus d’ambiants mobiles ; il est donc possible de décrire (via la relation de réduction du calcul des ambiants mobiles) les modifications qui sont engendrées par les actions dans une hiérarchie d’espaces partagés donnée.

4.2 L’observation

La nature des observations est double, il y a d’abord les propriétés statiques des espaces (l’identifiant, le type, l’agent associé, etc. cf. fig. 1) et il y a ensuite les propriétés spatiales des espaces partagés (par exemple cf. fig. 1, l’espace CWS1 contient les cinq espaces CWS2, CWS3, PWS1, O1 et O2). Ces dernières sont par contre dynamiques puisque la structure des espaces partagés évolue sous l’action des agents. La distribution et l’indépendance des espaces partagés impose une contrainte de taille sur les observations des propriétés dynamiques : un agent ne peut observer que les propriétés spatiales locales. Par exemple fig. 1, l’agent A peut observer la structure (i) de la fig. 3, mais pas la structure complète (ii).

Une observation locale, à un moment donné, des propriétés spatiales est donc un arbre de profondeur au plus un (voir fig. 3 (ii)). Une séquence d’observations dans un même lieu permet de capturer l’évolution de la structure de ce lieu. L’ubiquité des agents leur permet par contre d’observer en plusieurs endroits (par exemple en CWS1, CWS2 et CWS3) et par conséquent d’inférer à partir des observations locales, l’évolution de structures globales. Le raisonnement qui permet de reconstruire une représentation cohérente de l’évolution d’une structure à partir d’observations partielles est loin d’être simple, car les évolutions partielles constatées en des lieux distincts peuvent être liées. Nous abordons cette question ultérieurement, pour l’instant nous considérons que l’agent peut construire des observations des propriétés spatiales de structures globales et nous exposons dans les deux prochaines sections les langages que nous adoptons pour représenter ces observations. L’un a vocation à représenter les propriétés statiques, l’autre les propriétés dynamiques.

Propriétés statiques. Les propriétés statiques de l’environnement des agents sont représentées dans un fragment du calcul des prédicats.

Définition 1 Langage de représentation des propriétés statiques \mathcal{L}_s

\mathcal{L}_s est le fragment du calcul des prédicats défini par :

- L’ensemble des constantes est l’union $\Lambda \cup A \cup T \cup \mathcal{G}$, où Λ est l’ensemble des id. d’espaces, A est l’ensemble des id. d’agents, T est l’ensemble des types d’objets et \mathcal{G} est l’ensemble des buts valides d’espaces communs.
- L’ensemble des prédicats est restreint à l’ensemble de prédicats d’arité deux suivant :

{*done_by*, *uses*, *type_of*, *subtype_of*, *goal_of*,
subgoal_of, *has_access_to*, *belongs_to*}

– L’ensemble des fonctions est vide.

Les noms des prédicats parlent d’eux-mêmes : *done_by*(O, A) signifie que l’objet O a été créé par A , *uses*(O, O') indique que la construction de l’objet O a nécessité l’utilisation de l’objet O' , *goal_of*(E, G) traduit le fait que l’EC E est dédié à l’accomplissement du but G , *has_access_to*(A, E) signifie que l’agent A peut accéder à l’espace E et enfin *belongs_to*(E, A) indique que E est l’EP de l’agent A . Nous avons également défini un ensemble d’axiomes afin d’associer un sens approprié aux formules du langage \mathcal{L}_s et ainsi permettre aux agents de raisonner sur les propriétés statiques observées. Par exemple, l’axiome suivant exprime l’idée qu’un agent doit avoir les droits d’accès à un objet pour pouvoir l’utiliser.

$$done_by(O, A_g) \wedge uses(O, O') \supset has_access_to(A_g, O')$$

L’observation *done_by*(O_2, A) et *uses*(O_2, O_1) doit ainsi permettre de conclure *has_access_to*(A, O_1). Pour conclure, il faut noter que les formules du type *subtype_of*(t, t') ou *subgoal_of*(g, g') ne sont pas obtenues par observation des propriétés statiques, elles doivent appartenir aux croyances des agents.

Propriétés dynamiques. Nous définissons maintenant le langage \mathcal{L}_d permettant de décrire les propriétés dynamiques des espaces partagés. \mathcal{L}_d est un fragment de la logique des ambiants [4]. La syntaxe de \mathcal{L}_d est donnée fig. 4. Intuitivement, on peut interpréter la syntaxe de la manière suivante. Les trois premières formules (vrai, négation, disjonction) définissent une logique propositionnelle. Les quatre suivantes permettent de caractériser la configuration spatiale des espaces observés. 0 signifie qu’aucun espace n’est observé. $A|B$ signifie

η	identifiant d'espace n ou variable x
$\mathcal{A}, \mathcal{B} ::= \top$	vrai
$\neg \mathcal{A}$	négation
$\mathcal{A} \vee \mathcal{B}$	disjonction
$\mathbf{0}$	nul
$\mathcal{A} \mathcal{B}$	composition
$\eta[\mathcal{A}]$	localisation
$\mathcal{A} @ \eta$	placement
$\diamond \mathcal{A}$	parfois
$\blacklozenge \mathcal{A}$	quelque part
$\exists x \cdot \mathcal{A}$	quantification existentielle

FIG. 4 – Syntaxe de \mathcal{L}_d

que la structure observée est composée de deux sous-structures indépendantes (deux arbres distincts), la première vérifie la propriété \mathcal{A} , la deuxième \mathcal{B} . $n[\mathcal{A}]$ signifie que la structure observée est un arbre dont la racine est l'espace n , et la forêt cachée derrière n vérifie la propriété \mathcal{A} . Le placement est le dual de l'opérateur précédent. $\exists x \cdot \mathcal{A}$ est une quantification existentielle sur les identifiants d'espaces. Enfin les deux formules modales $\diamond \mathcal{A}$ et $\blacklozenge \mathcal{A}$ signifient respectivement que la structure observée peut évoluer en une structure qui satisfait la propriété \mathcal{A} , et qu'une partie de la structure observée possède la propriété \mathcal{A} .

Le langage \mathcal{L}_d permet aux agents de représenter les observations globales des propriétés dynamiques ; les formules de \mathcal{L}_d ne sont donc pas directement *lisibles* dans l'environnement. C'est l'interprétation des séquences d'observations locales qui fournit les observations globales. Dans notre travail de recherche nous avons donc défini une structure d'interprétation des observations locales, il s'agit d'un Réseau de Pétri particulier, construit incrémentalement par l'agent pour organiser de façon cohérente ses séquences d'observations locales. Cette structure sert ensuite de modèle pour définir la relation de satisfaction du langage \mathcal{L}_d . Nous avons également proposé un algorithme de model-checking qui permet de vérifier si une formule donnée de \mathcal{L}_d est vérifiée dans la structure d'interprétation.

Le processus d'observation de l'agent est donc en fait un processus de reconnaissance : un agent peut observer une formule de \mathcal{L}_d , s'il la reconnaît dans les séquences d'observations locales. En d'autres termes, un agent n'observe que ce qu'il veut voir. Ceci ne nous semble pas

être un obstacle dans la mesure où nous nous intéressons avant tout à la mise en place d'une coordination par opportunités, dans laquelle des agents doivent rechercher et reconnaître dans des espaces partagés les opportunités qui leur permettront d'agir.

5 Conclusion et Perspectives

Nous proposons un modèle d'interaction possédant les caractéristiques suivantes : le médium de l'interaction est l'environnement des agents, les actions réciproques naissent de la rencontre d'une modification de l'environnement et de l'observation des changements produits. L'observation a déjà fait l'objet de recherches dans la communauté SMA, mais les techniques et les objectifs sont très différents des nôtres (cf. [5] et [1]).

Nous avons donné à notre langage d'action une sémantique qui décrit les modifications produites par chaque action dans l'environnement, nous travaillons actuellement sur la définition d'une sémantique permettant cette fois de relier les actions aux états mentaux des agents qui les commettent. Ce travail s'effectue en parallèle avec la définition d'une architecture d'agent opportuniste.

Références

- [1] G. Murray A. Rao. Multi-agent mental-state recognition and its application to air-combat modelling. In *Proceedings of the Distributed Artificial Intelligence Workshop*, 1994.
- [2] M. Georgeff A. Rao. Modelling rational agents within a bdi-architecture. In *Proc. of the Int. Conf. on Knowledge Representation and Reasoning*, 1991.
- [3] A. Gordon L. Cardelli. Anytime, anywhere. modal logics for mobile ambients. In *Proc. of the 27th ACM Symposium on Principles of Programming Languages*, 2000.
- [4] A. Gordon L. Cardelli. Mobile ambients. In *Theoretical Computer Science*, 2000.
- [5] E. Durfee M. Huber. Deciding when to commit to action during observation-based coordination. In *Proc. of the First Int. Conf. on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*, 1995.
- [6] J. Kolodner M. Simina. Opportunistic reasoning a design perspective. In *Proc. of the 7th annual Cognitive Science conf.*, 1995.