
Un cadre d'interprétation de la sémantique de FIPA-ACL dans JADE

Vincent Louis, Thierry Martinez

Laboratoire "EASY" du
Centre de Recherche et Développement "Technologies"
France Télécom R&D
2, avenue Pierre Marzin
22307 Lannion Cedex - France
{ vincent.louis, thierry.martinez }@francetelecom.com

RÉSUMÉ. Une technique souvent préconisée pour construire des agents conformes au standard FIPA est d'implémenter leurs comportements sous la forme d'automates d'états finis, qui respectent à la lettre les protocoles d'interaction prédéfinis. Si cette technique a largement contribué à la mise en œuvre du standard, elle ne permet cependant pas de tirer le meilleur parti de la sémantique du langage FIPA-ACL. Dans cet article, nous proposons une nouvelle technique fondée sur l'interprétation effective de cette sémantique. Si elle ne prétend pas implémenter complètement la théorie sous-jacente, par nature indécidable, elle permet néanmoins de construire facilement des agents plus flexibles, intrinsèquement capables d'interpréter le sens des messages, et donc mieux adaptés à des environnements ouverts tels que le web sémantique. Cette technique est d'ores et déjà implantée sur la plate-forme JADE (sous la forme d'une extension disponible depuis fin juillet 2005).

ABSTRACT. An often recommended technique to build agents conforming to the FIPA standard, consists in implementing their behaviours as finite state machines that strictly observe the predefined interaction protocols. If such a technique has notably contributed to the use of this standard, it is however not sufficient to make the most of the semantics of the FIPA-ACL language. In this article, we propose a new technique based on the actual interpretation of this semantics. If it cannot claim to fully implement the underlying theory, which is not decidable, it makes it possible to easily build more flexible agents, intrinsically able to interpret the meaning of messages, which are therefore more adapted to open environments such as the semantic web. This technique has been implemented upon the JADE platform (as an add-on available since end of July 2005).

MOTS-CLÉS: Interaction sémantique, Communication, FIPA, Protocoles, JADE.

KEYWORDS: Semantic Interaction, Communication, FIPA, Protocols, JADE.

1. Introduction

Le web sémantique évoque généralement une vaste interconnexion de programmes, baptisés agents, opérant sur des données structurées, dans le but de rendre le meilleur service possible à un utilisateur final [Berners *et al.* 01]. Détenteurs d'information, médiateurs entre des services et des utilisateurs (ou d'autres services), ou directement assistants d'utilisateurs, les agents sont supposés interagir dans un monde ouvert et se comprendre sans nécessairement se connaître a priori [Martinez *et al.* 03]. Ce principe d'interopérabilité entre des agents hétérogènes constitue le fondement des travaux de standardisation de la FIPA [FIPA] et des développements de plates-formes multiagents qui s'y conforment, telles que JADE [JADE].

Si les progrès en matière d'infrastructure sont incontestables (par exemple, les échanges de messages entre agents sont possibles, tant au niveau intra qu'au niveau inter plate-forme), en revanche, l'objectif d'interopérabilité entre agents hétérogènes n'est pas encore totalement atteint. Notamment, l'expérimentation de réseau ouvert à l'échelle planétaire menée par le projet européen Agentcities [Agentcities] a montré que les agents déployés n'interagissaient qu'avec les agents qui avaient été explicitement conçus pour le faire [Willmott 03] et qu'ils ne pouvaient donc pas réellement se comprendre a priori.

Une raison à cela est sans doute le manque d'ontologie commune permettant aux agents de s'exprimer dans des termes compréhensibles de tous [Greaves *et al.* 99] ; mais pas seulement. Une autre raison est probablement l'absence de mécanisme à même d'exploiter la signification effective des messages envoyés et reçus par les agents. Bien que le langage de communication FIPA-ACL dispose d'une sémantique formellement définie [FIPA-ACL], les mécanismes généralement utilisés par les agents pour échanger des actes communicatifs consistent à se conformer aux protocoles d'interaction définis par la FIPA. Or, si ces protocoles sont assurément un moyen « pragmatique » de mettre en œuvre les interactions, ils ne permettent cependant pas de tirer le meilleur parti de la sémantique des actes échangés. Notamment, parce qu'en renonçant à s'appuyer sur les états mentaux des agents [Pitt *et al.* 99], les protocoles d'interaction ne peuvent pas exploiter pleinement le modèle théorique sous-jacent proposé par [Sadek 91].

Dans ce contexte, nous proposons un cadre logiciel offrant des mécanismes d'interprétation de la sémantique des messages FIPA-ACL, que nous avons mis en œuvre sur la plate-forme JADE. Fondés sur un modèle opérationnel [Louis *et al.* 05], ces mécanismes devraient favoriser et simplifier la construction d'agents « sémantiques », capables d'interpréter effectivement le sens des actes reçus ou émis. Par exemple, un agent sémantique détenant une information sera « naturellement » (i.e. sans adjonction de code) capable de répondre à des messages Subscribe ou Request-Whenever portant sur cette information. Il sera aussi capable de comprendre différentes formulations d'une même demande (par exemple, un message Request portant sur une action et un message Inform portant sur l'intention

que soit réalisée cette action), et d'y répondre de façon cohérente. En outre, contrairement à certaines critiques émises à l'encontre de FIPA-ACL [McBurney *et al.* 04], un agent respectant la sémantique de ce langage n'est pas obligatoirement coopératif. Il n'est pas contraint d'accepter toutes les croyances et intentions d'autres agents ; ces caractéristiques dépendent du comportement souhaité.

Dans la suite de l'article, nous revenons tout d'abord sur le style « classique » de programmation des agents à partir de protocoles, pour en montrer certaines limites. Nous détaillons ensuite, dans la section 3, les principes essentiels qui régissent la sémantique de FIPA-ACL pour l'interaction entre deux agents, et nous en proposons une forme générale. Les éléments logiciels introduits pour réifier ces principes sont décrits dans la section 4. Enfin, nous illustrons les apports du cadre proposé dans la section 5, sur un exemple simple de thermomètre « multiagent ».

2. Limites des protocoles d'interaction

L'usage intensif des protocoles d'interaction est sans doute le style de programmation le plus répandu pour construire des agents conformes au standard FIPA. Pour ces agents, le seul moyen d'interagir conformément à la sémantique des actes communicatifs est de respecter à la lettre un protocole d'échange de messages. Par exemple, dans le protocole [FIPA-QUERY] (cf. figure 1), l'initiateur, à l'origine de l'interaction, émet un message Query-if ou Query-ref, puis attend un message Agree ou Refuse (optionnel) suivi d'un message Inform ou Failure.

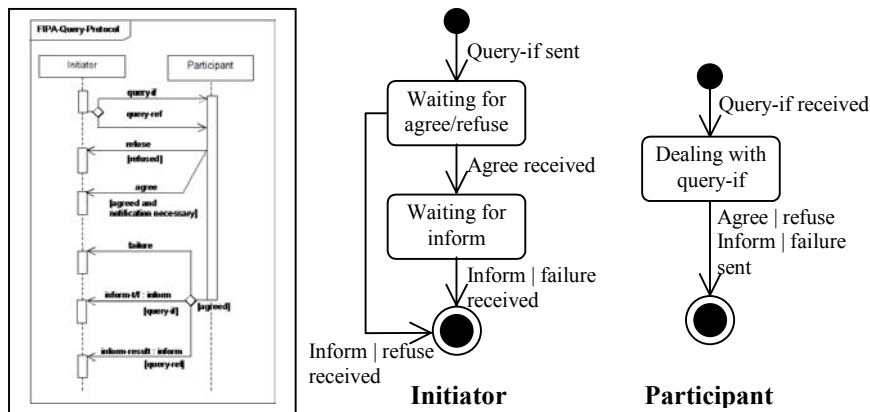


Figure 1. Protocole FIPA-QUERY

Les automates d'états finis de la figure 1 montrent l'apparente simplicité d'implémentation de ce protocole, pour le rôle d'initiateur, comme pour celui de

participant. En réalité, cette simplicité est toute relative car dans bien des cas, les agents doivent participer simultanément à plusieurs protocoles, et donc combiner plusieurs automates. Supposons, dans l'exemple précédent, que l'agent jouant le rôle de participant souhaite à son tour poser une question à l'initiateur (l'initiateur demande « Il y a-t-il un train pour Paris ? », et le participant répond « Quand souhaitez-vous partir ? »). Comme le participant devient aussi l'initiateur d'un autre protocole, on doit alors nécessairement combiner les deux automates.

En outre, les protocoles d'interaction posent plusieurs problèmes au regard de la sémantique des actes communicatifs. Le premier concerne leur trop grande rigidité, qui ne permet pas de traiter toutes les formulations possibles d'une même requête, ni toutes les requêtes possibles pour un même contenu propositionnel. Par exemple, le protocole FIPA-REQUEST impose un message initial de type Request. Or, du point de vue de la sémantique, cette demande a le même effet qu'un message de type Inform dont le contenu exprime l'intention de réaliser l'action spécifiée dans le Request ; mais cette formulation n'est pas autorisée par le protocole. De même, le fait qu'un agent participe à un protocole FIPA-QUERY ne dit rien de sa capacité à participer aussi à un protocole FIPA-SUBSCRIBE pour un contenu similaire.

Un deuxième problème concerne au contraire un manque de rigueur vis-à-vis de la sémantique. Par exemple, l'initiateur d'un protocole FIPA peut interrompre ce dernier en envoyant un Cancel portant sur l'acte initial du protocole (voir le « FIPA-CANCEL-meta-protocol »). Or la définition sémantique de cet acte Cancel ne stipule pas que l'initiateur souhaite mettre fin au déroulement du protocole, mais seulement qu'il n'a pas l'intention que soit réalisé l'acte initial (qui a de toute façon déjà été envoyé). Un Cancel appliqué à un Subscribe n'a donc pas le sens intuitif d'un acte « Unsubscribe », lequel fait aujourd'hui défaut à la spécification.

3. Principes d'interprétation des actes FIPA-ACL

Le langage FIPA-ACL définit un jeu d'actes communicatifs, dont la signification formelle résulte de leur interprétation comme des actions particulières dans la théorie plus générale de l'interaction rationnelle proposée par Sadek [Sadek 91]. Cependant, certains principes de cette théorie ne sont pas explicitement recensés par la spécification [FIPA-ACL, Informative Annexe A] (bien que la plupart le soient).

3.1. *Rappel sur les attitudes mentales et les actions*

La théorie sous-jacente à la sémantique de FIPA-ACL définit formellement les comportements d'un agent en termes de ses attitudes mentales (croyances et intentions, notions comparables à d'autres présentes dans des approches bien connues de type « BDI » [Rao *et al.* 91]) et des actions qu'il peut observer ou réaliser.

Deux opérateurs modaux, B et U, formalisent les croyances d'un agent. ($B \underline{i} \underline{p}$)¹ signifie que l'agent \underline{i} croit que la propriété \underline{p} est vraie, et ($U \underline{i} \underline{p}$) que \underline{i} est incertain sur \underline{p} . L'opérateur B est classiquement défini par la logique modale KD45 et s'interprète dans une structure de mondes possibles de Kripke ; l'opérateur U s'interprète en termes probabilistes sur les mondes possibles accessibles par B.

L'opérateur modal I formalise les intentions d'un agent. ($I \underline{i} \underline{p}$) signifie que \underline{i} a l'intention que \underline{p} devienne vraie. Si l'intention est construite sur des notions de but plus primitives dans la théorie de Sadek (selon une méthodologie proche de celle proposée dans [Cohen *et al.* 90]), elle est considérée comme primitive dans le contexte de FIPA.

À titre d'exemple, ce modèle d'attitudes mentales valide la propriété suivante. Elle stipule qu'un agent ne peut pas être incertain d'une de ses attitudes mentales. Intuitivement, cela vient du fait qu'un agent « normalement constitué » doit connaître son état interne (et donc ses croyances, incertitudes et intentions) :

$$(\text{not } (U \underline{i} \underline{PHI}(\underline{i}))) \quad [1]$$

où \underline{i} désigne un agent et $\underline{PHI}(\underline{i})$ a attitude mentale de \underline{i}

Deux autres modalités permettent de décrire des faits temporels par rapport à l'occurrence d'actions : *done* et *feasible*. ($\text{done } \underline{a} \underline{p}$) signifie que l'action \underline{a} vient juste de se réaliser, avant quoi la propriété \underline{p} était vraie. ($\text{feasible } \underline{a} \underline{p}$) signifie que l'action \underline{a} peut se réaliser et que, si c'est le cas, \underline{p} sera vraie après sa réalisation. Ces opérateurs sont définis comme des modalités possibles d'un système de logique modale K, dont les relations d'accessibilité dans une structure de mondes possibles de Kripke correspondante spécifient un passé linéaire et un futur ramifié.

3.2. Principes d'interprétation d'un acte FIPA-ACL

FIPA-ACL définit quatre actes primitifs (Inform, Confirm, Disconfirm et Request) et dix-huit autres construits sur la base des premiers [FIPA-ACL]. Chacun d'eux est formalisé par une précondition de faisabilité et un effet rationnel.

3.2.1. Principe d'interprétation de la précondition de faisabilité

Un agent observant la réalisation d'un acte communicatif croit nécessairement que la précondition de cet acte était vraie juste avant sa réalisation :

$$(B \underline{i} (\text{implies } (\text{done } \underline{a} \text{ true}) (\text{done } \underline{a} \underline{FP}(\underline{a})))) \quad [2]$$

où \underline{a} , $\underline{FP}(\underline{a})$ et \underline{i} désignent respectivement un acte communicatif, sa précondition de faisabilité et un agent

¹ Dans l'article, toutes les formules sont exprimées en FIPA-SL [FIPA-SL]. Les termes soulignés désignent des variables schématiques. Par exemple, \underline{i} et \underline{p} peuvent être substituées respectivement par un terme désignant un agent et par une formule.

Ce principe permet notamment de tester la consistance d'un message reçu. Par exemple, appliqué à des actes Inform portant sur des attitudes mentales du récepteur (correspondant à des messages du type « tu as l'intention de ... »), il se réduit à *false* car leur précondition de faisabilité est fausse en vertu de la propriété [1]².

3.2.2. Principe d'interprétation de l'effet rationnel

L'effet rationnel représente le résultat visé lorsqu'on réalise un acte. Il sous-tend une post-condition, appelée « effet intentionnel », dont la formalisation stipule qu'un agent observant la réalisation dudit acte croit nécessairement que son auteur a l'intention que chaque destinataire en vienne à croire que l'auteur a l'intention de l'effet rationnel de cet acte :

$$(B \text{ } \underline{i} \text{ } (\text{implies } (\text{done } \underline{a} \text{ true}) (I \text{ } \underline{j} \text{ } (B \text{ } \underline{k} \text{ } (I \text{ } \underline{j} \text{ } RE(\underline{a}))))))$$

où \underline{a} , $RE(\underline{a})$, \underline{i} , \underline{j} et \underline{k} désignent respectivement un acte communicatif, son effet rationnel, un agent, l'auteur de \underline{a} et un destinataire de \underline{a} [3]

[FIPA-ACL, Property 4] spécifie en fait le principe simplifié suivant, qui suppose que les destinataires d'un acte adoptent systématiquement l'intention primaire exprimée par l'effet intentionnel (à savoir que l'auteur a l'intention de l'effet rationnel de l'acte) :

$$(B \text{ } \underline{i} \text{ } (\text{implies } (\text{done } \underline{a} \text{ true}) (I \text{ } \underline{j} \text{ } RE(\underline{a}))))$$

où \underline{a} , $RE(\underline{a})$, \underline{i} et \underline{j} désignent respectivement un acte communicatif, son effet rationnel, un agent et l'auteur de l'acte \underline{a} [4]

À noter que l'opérateur B englobant ce principe fait de l'effet intentionnel une perception propre (i.e. subjective) à chaque observateur. Ce dernier est alors libre de satisfaire ou non l'intention de l'auteur (identifiée par les principes [3] ou [4]) selon ses propres caractéristiques de comportement.

3.2.3. Principes de coopération

L'annexe informative de [FIPA-ACL] ne donne aucun élément de nature à imposer une manière particulière d'interpréter cet effet intentionnel, processus qui reste à la charge de chaque agent. Cependant, la théorie sous-jacente définit plusieurs principes qu'il est possible d'adapter pour implémenter concrètement ces agents.

Un de ces principes concerne le transfert de croyance, qui définit la condition selon laquelle un agent choisit d'adopter la croyance d'un autre agent. Il est formalisé comme suit :

² La propriété [1] ne se dérive pas de [FIPA-ACL, Property 5], unique propriété relative aux préconditions de faisabilité donnée dans la spécification FIPA (destinée à la planification des actions), si bien que la spécification FIPA telle quelle ne donne aucun moyen de tester la consistance des messages reçus par un agent.

$$(\text{implies } (\text{and } (B \underline{i} (I \underline{j} (B \underline{i} \underline{p}))) (B \underline{i} \text{COND}_B(\underline{j}, \underline{p}))) (B \underline{i} \underline{p})) \quad [5]$$

où \underline{i} , \underline{j} et \underline{p} désignent respectivement deux agents et une formule

Tel que le définit Sadek, ce principe s'applique aux faits \underline{p} représentant une attitude mentale de l'agent \underline{j} . Nous l'étendons ici à tout type de fait en ajoutant une condition, notée $\text{COND}_B(\underline{j}, \underline{p})$, qui peut être particularisée pour chaque agent \underline{i} . Par exemple, si \underline{i} ne doit pas croire \underline{j} , cette condition vaut *false* quel que soit \underline{p} .

Un autre principe concerne le transfert d'intention, qui spécifie la condition selon laquelle un agent choisit d'adopter les intentions d'un autre agent. Il peut être formalisé de la façon suivante :

$$(\text{implies } (\text{and } (B \underline{i} (I \underline{j} \underline{p})) (B \underline{i} \text{COND}_T(\underline{j}, \underline{p}))) (I \underline{i} \underline{p})) \quad [6]$$

où \underline{i} , \underline{j} et \underline{p} désignent respectivement deux agents et une formule qui n'est pas une attitude mentale de \underline{i}

Ici, la condition $\text{COND}_T(\underline{j}, \underline{p})$ permet de spécialiser le comportement d'un agent au regard du transfert d'intention.

Pour plus d'information, le lecteur pourra se reporter à [Sadek 91] et à [Bretier *et al.* 95], qui proposent des principes de coopération plus élaborés, facilement transposables au contexte de l'article.

3.3. Forme générale d'un principe d'interprétation

Puisque $(B \underline{i} (\text{implies } \underline{p} \underline{q}))$ entraîne $(\text{implies } (B \underline{i} \underline{p}) (B \underline{i} \underline{q}))$ dans la théorie logique sous-jacente (axiome K de l'opérateur B), les principes précédents, qui formalisent l'interprétation sémantique des actes communicatifs, peuvent s'écrire selon le modèle général suivant :

$$(\text{implies } (\text{and } \underline{A} \text{COND}) \underline{C}) \quad [7]$$

Dans ce schéma, \underline{A} désigne l'antécédent à reconnaître pour appliquer le principe, COND une condition à vérifier pour appliquer le principe, et \underline{C} la conséquence résultant de l'application de ce principe. Par exemple, en remplaçant \underline{A} par $(B \underline{i} (\text{done } \underline{a} \text{ true}))$, COND par *true* et \underline{C} par $(B \underline{i} (\text{done } \underline{a} \text{ FP}(\underline{a})))$ on retrouve le principe d'interprétation de la précondition de faisabilité [2].

En reprenant sous cette forme les principes formels de la théorie, on aboutit à un ensemble correct (mais pas nécessairement complet) d'axiomes, qui dans une perspective d'implémentation suffit à garantir des comportements consistants aux agents. Comme la théorie sous-jacente est en soi non décidable, un tel compromis est de toute façon nécessaire pour la mettre en œuvre.

4. Cadre logiciel d'interprétation de la sémantique de FIPA-ACL

Le processus d'interprétation sémantique des actes FIPA-ACL proposé consiste en une fonction de production de sens à partir d'événements perçus³, et en une fonction de consommation de ce sens pour générer de nouvelles croyances et de nouvelles activités de l'agent (cf. Figure 2).

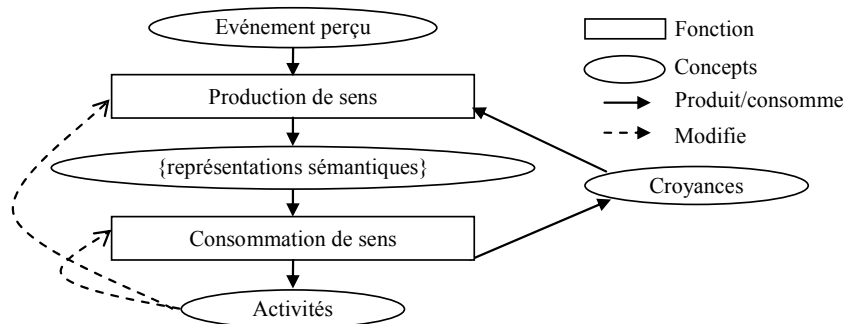


Figure 2. Processus d'interprétation de la sémantique des actes FIPA-ACL

Quatre éléments interviennent dans ce processus : l'**activité** et la **croyance**, déjà bien connues dans les systèmes multiagents ; la **représentation sémantique** et le **principe d'interprétation sémantique**, introduits spécifiquement pour réifier les principes décrits au chapitre précédent.

4.1. Représentation sémantique (SR)

C'est une formule FIPA-SL qui représente le sens attribué par l'agent à un événement perçu (comme un message reçu). La forme générale d'une SR est celle d'une croyance simple ou complexe de l'agent, qui peut porter sur l'état du monde, ses intentions propres, les intentions ou les croyances d'autres agents, etc. Une SR est exprimée dans une forme normale, de sorte que deux SRs logiquement équivalentes sont identiques.

L'utilisation de SRs impose de gérer correctement les croyances d'un agent sémantique. En effet, l'interprétation d'un acte communicatif est toujours liée aux croyances de son auteur et de son destinataire. Pour gérer les croyances, on suppose que chaque agent dispose d'une « base » de croyances, qui offre au moins les opérations *Assert* pour ajouter de nouvelles croyances, *Query-if* pour tester

³ Nous utilisons la notion d'événement perçu comme une généralisation de la notion de message reçu.

une croyance, et `Query-ref` pour récupérer les termes qui satisfont une croyance particulière. Par exemple, `Assert("(temperature 20)")` ajoute le fait que l'agent croit que la température est de 20° ; `Query-if("(temperature 21)")` et `Query-if("(temperature-superieure 10)")` testent des croyances de l'agent sur la température ; et `Query-ref("(iota ?x (temperature ?x)")` retourne la valeur de la température connue de l'agent.

Produire du sens, i.e. des SRs, revient concrètement à produire des croyances de l'agent. Considérons par exemple le message `(Inform :sender i :receiver j :content "(p)")`, sa perception par l'agent `j` conduit ce dernier à produire les SRs suivantes :

- `(B j (done (action i (Inform ...))` exprime le fait que `j` croit que `i` vient juste de réaliser l'acte `Inform` (c'est la représentation la plus directe de l'événement) ;
- `(B j (B i p))` exprime le fait que `j` croit que `i` croit le contenu de l'acte `Inform`. Cette SR, déduite du principe [2], traduit une précondition de faisabilité de l'acte (i.e., l'auteur d'un `Inform` croit le contenu de cet `Inform`) ;
- D'autres SRs sont produites à partir de l'effet intentionnel de l'acte `Inform` et des principes de coopération. Par exemple, `(B j p)` est produit si `j` accepte la croyance communiquée par `i` (condition $\underline{\text{COND}}_B(i, p)$ du principe [5]).

Consommer ces SRs amène finalement l'agent à croire le contenu de l'acte `Inform`, i.e., à « asserter » la croyance correspondante dans sa base. Une autre façon de consommer les SRs produites consiste à ajouter des activités à l'agent. Par activité, on entend la réalisation d'une suite plus ou moins complexe d'actions, comme faire un acte de communication, envoyer un courriel, allumer une lampe, etc. Par exemple, l'interprétation d'un acte `Query-if` conduit généralement le destinataire à émettre un `Inform` et celle d'un acte `Request` à réaliser l'action demandée. Les activités d'un agent peuvent être primitives ou composites, et peuvent aussi résulter d'un calcul (indépendant) de planification.

4.2. Principes d'interprétation sémantique (SIP)

À la fois producteur et consommateur de SRs (cf. figure 3), un SIP réifie un principe particulier de la théorie, exprimé selon le modèle `(implies (and $\underline{\text{COND}}$) $\underline{\text{C}}$)`. Pour qu'un SIP consomme une SR, il faut que celle-ci respecte la forme générale $\underline{\text{A}}$ associée au SIP et que la condition $\underline{\text{COND}}$ du SIP (qui dépend des croyances de l'agent) soit vérifiée. Lorsqu'un SIP consomme une SR, il produit de nouvelles croyances et/ou de nouvelles activités et/ou de nouvelles SRs.

Avec ce modèle, un agent sémantique se construit : (a) en réutilisant les SIPs génériques qui implémentent les principes formels de la théorie, comme par exemple l'effet intentionnel [4] ou la précondition de faisabilité [2] ; (b) en spécialisant les SIPs génériques qui implémentent les principes de coopération (au

moyen des conditions \underline{COND}_B et \underline{COND}_T), comme le transfert de croyance [5] ou l'adoption d'intention [6] ; (c) en ajoutant des SIPs spécifiques à l'agent ou au domaine d'application ; (d) enfin, en ajoutant des actions et des croyances spécifiques à l'agent ou au domaine d'application, sur lesquelles s'appuie l'exécution de l'ensemble des SIPs.

Le tableau ci-dessous recense les principaux SIPs génériques que nous avons implémentés dans JADE sur ce modèle :

SIP	Fonction
ActionFeatures	Application des principes [2] et [4]
BeliefTransfer	Application du principe [5]
IntentionTransfer	Application du principe [6]
ActionPerformance	Ajout d'une activité réalisant une action dont l'agent a l'intention
RationalityPrinciple	Ajout d'une activité réalisant un effet dont l'agent a l'intention (principe de rationalité [FIPA-ACL, Property 1])
Planning	Mise en œuvre d'un calcul de planification (si disponible)

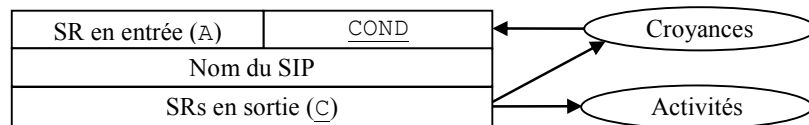


Figure 3. Principe d'interprétation sémantique

5. Exemple de mise en œuvre du cadre : un thermomètre « multiagent »

L'exemple de la figure 4 met en œuvre quatre agents. Les deux premiers sont des agents sémantiques : un thermomètre (τ) qui capte et affiche la température ambiante et un personnage (p) dont l'apparence vestimentaire change en fonction de la température. Les deux derniers (s et m) sont des agents « classiques » utilisés pour envoyer des messages au personnage et visualiser ses réponses.

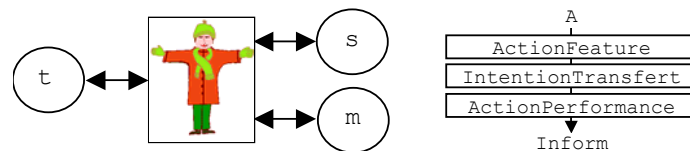


Figure 4. Un thermomètre « multiagent »

Programmer cet exemple sur la base du cadre proposé consiste à spécifier les règles applicables aux croyances sur les températures, à définir les actions spécifiques à l'application et à particulariser les principes génériques de coopération des agents. Ici, les règles de gestion des croyances sont telles que l'ajout de (*temperature* *i*) remplace toutes les croyances précédentes sur ce prédicat et rend vraies toutes les croyances (*temperature-superieure* *j*) pour lesquelles $i > j$. Les actions (*mettre-vetement* :*vetement* *V*) et (*enlever-vetement* :*vetement* *V*) sont définies simplement par une précondition ((*not* (*porte-vetement* *Agent* *V*)) pour la première), une post-condition ((*porte-vetement* *Agent* *V*) pour la première) et le code associé à leur exécution. Enfin, les principes de coopération sont spécialisés pour que le personnage n'accepte de réaliser que les actions demandées par *m*.

Sans autre programmation, les agents sémantiques résultants sont capables de réagir à tout type de requêtes sur leurs connaissances ou sur des actions à exécuter. Par exemple, pour connaître la température, on peut émettre des demandes vers le thermomètre sous des formes variées telles que :

```
(A)  (query-if      :sender p :receiver t
      :content "((temperature-superieure 10)))")

(B)  (query-ref    :sender p :receiver t
      :content "((any ?x(temperature ?x)))")

(C)  (inform       :sender p :receiver t
      :content "((I (agent-identifier :name p)
                     (exists ?t (B (agent-identifier :name p)
                                   (temperature ?t))))))")

(D)  (request-whenver :sender p :receiver t
      :content "((action (agent-identifier :name t)
                         (inform-ref :sender (agent-identifier :name t)
                                     :receiver(agent-identifier :name p)
                                     :content \"((any ?x (temperature ?x)))\\")
                         (temperature-a-changeé)))")
```

Ces demandes sont automatiquement interprétées en appliquant les SIP adéquats (la figure 4 illustre l'interprétation de (A)). Ce faisant, le thermomètre, qui se limite à stocker des croyances sur la température, est naturellement capable de répondre aux demandes (A), (B), (C) ou (D), et de traiter de façon identique les demandes d'information (B) (sous la forme classique d'un Query-Ref) et (C) (sous la forme d'un Inform portant sur une intention de connaître). De la même façon, les réponses reçues par l'agent requêteur (par exemple le personnage) enrichissent automatiquement sa base de connaissances. Il peut alors à son tour répondre à ces mêmes demandes.

De même, pour demander au personnage de mettre un vêtement, on peut émettre des demandes variées telles qu'un Request portant sur l'action `mettre-vetement` ou un Inform indiquant l'intention de l'auteur que l'effet de cette action devienne vrai (à savoir que le personnage porte un vêtement) :

```
(E)  (request      :sender m :receiver p
      :content "((action (agent-identifieur :name p)
                        (mettre-vetement :vetement pullover))))")

(F)  (inform      :sender m :receiver p
      :content "((I (agent-identifieur :name m)
                    (porte-vetement (agent-identifieur :name p) pullover))))")
```

L'interprétation des demandes (E) et (F), quelle que soit leur formulation, aboutit à la même réaction de l'agent (qui consiste à accepter ou à refuser de réaliser l'action). De plus, cette réaction peut être particularisée en spécifiant les intentions que l'agent peut accepter ou refuser de la part d'autres agents (condition COND_I du principe [6]). Ainsi, dans l'exemple, le personnage accepte de réaliser les actions demandées par l'agent m mais refuse celles demandées par d'autres agents.

Enfin, il est aussi possible d'ajouter des comportements spécifiques aux agents sémantiques en programmant leurs intentions en fonction du contexte, et notamment de leurs croyances. Dans l'exemple, le personnage adopte l'intention de se vêtir ou de se dévêtir en fonction de sa connaissance de la température. Il met alors en œuvre les mêmes actions, et selon les mêmes mécanismes, que décrits précédemment.

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons décrit un cadre logiciel qui permet d'exploiter avantageusement la sémantique du langage de communication FIPA-ACL, et qui est aujourd'hui disponible sur la plate-forme JADE. Un agent sémantique, en travaillant intrinsèquement sur la signification des messages, peut notamment rejeter automatiquement des messages inconsistants, reconnaître plusieurs formulations d'une même demande, ou encore répondre à une question par une autre question. Il peut aussi opter pour des comportements très spécifiques en matière de coopération. Sa flexibilité et son autonomie en sont donc significativement améliorées.

En outre, ce cadre devrait aussi contribuer à renforcer la conformité des agents aux aspects du standard FIPA liés à la sémantique. Cette conformité résulterait ici non pas d'une vérification externe à l'agent développé, mais plutôt de la mise en œuvre par ce dernier des mécanismes proposés. Dans la mesure où une telle vérification est de toute façon difficile à réaliser, étant donnée la nature privée des états mentaux d'un agent (sur lesquels reposent les définitions sémantiques des actes communicatifs), nous pensons que ce cadre est à même de proposer de nouvelles pistes au regard de cette question si souvent évoquée à l'encontre de FIPA.

7. Bibliographie

- [Agentcities] Site du projet *Agentcities*, <http://www.agentcities.org/>
- [Berners *et al.* 01] Berners-Lee T., Hendler J., Lasilla O., The Semantic Web, *Scientific American*, mai 2001, p. 35–43.
- [Bretier *et al.* 95] Bretier P., Sadek D., Designing and Implementing a Theory of Rational Interaction to be the Kernel of a Cooperative Spoken Dialogue System, *Proceedings of the AAAI'95 Fall Symposium on Rational Agency*, Cambridge, MA (États-Unis), 1995.
- [Cohen *et al.* 90] Cohen, P., Levesque, H., Intention is choice with commitment, *Artificial Intelligence*, vol. 42, n° 2–3, 1990, p. 213–262.
- [FIPA] FIPA specifications, <http://www.fipa.org/specifications/index.html>
- [FIPA-ACL] FIPA Communicative Act Library Specification. FIPA00037, <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/>, 2002.
- [FIPA-QUERY] FIPA Query Interaction Protocol Specification. FIPA00027, <http://www.fipa.org/specs/fipa00027/>, 2002.
- [FIPA-SL] FIPA SL Content Language Specification. FIPA00008, <http://www.fipa.org/specs/fipa00008/>, 2002.
- [JADE] The Java Agent DEvelopment Framework, <http://jade.tilab.com/>
- [Greaves *et al.* 99] Greaves M., Holmback H., Bradshaw J.M., What is a conversation policy?, *Proceedings of the Workshop on Specifying and Implementing Conversation Policies*, Seattle, WA, 1999, p. 1–9.
- [Louis *et al.* 05] Louis V., Martinez T., An operational model for the FIPA-ACL semantics, *Proceedings of the AAMAS'05 Workshop on Agent Communication (AC2005)*, Utrecht, Pays-Bas, 2005, à paraître.
- [Martinez *et al.* 03] Martinez T., Louis V., Bretier P., Artimis : assistant de voyage et médiateur intelligent dans un système multi-agent, *Actes des Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA'03)*, Hamamet, Tunisie, 2003.
- [McBurney *et al.* 04] McBurney P., Parsons S., Locutions for argumentation in agent interaction protocols, *Revised Proceedings of the International Workshop on Agent Communication (AC2004)*, New York, NY, USA, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 3396, Berlin, Germany, Springer, 2004, pp. 209—225.
- [Pitt *et al.* 99] Pitt J., Bellifemine F., A Protocol-Based Semantics for FIPA '97 ACL and its implementation in JADE, CSELT internal technical report (Part of this report has been also published in *Proceedings of AI*IA '99*), 1999.
- [Rao *et al.* 91] Rao A., Georgeff M., Modeling rational agents within a BDI-architecture, *Proceedings of KR'91*, 1991, p. 473–484.
- [Sadek 91] Sadek D., Attitudes mentales et interaction rationnelle : vers une théorie formelle de la communication, Thèse de doctorat, Université de Rennes I, France, 1991.
- [Willmott 03] Willmott S. (ed.), Technical Input and Feedback to FIPA from Agentcities.RTD and the Agentcities Initiative, Agentcities Task Force Technical Note 00003, <http://www.agentcities.org/note/00003/>, 2003.