Communication entre agents.

Philippe Pasquier, doctorant DAMAS, université Laval, Canada.

13 septembre 2001

pasquier@iad.ift.ulaval.ca

Table des matières

1 Introduction

Qu'ils soient humains ou artificiels, les agents agissent en groupes caractérisés par la coopération et le partage des tâches. Cette collaboration nécessite leur interaction, laquelle dépend du type de communication que les agents entretiennent. Communiquer, c'est chercher à produire un effet sur autrui à l'aide d'un système de signes. Notons que l'existence d'un système de signes ne supprime pas l'incertitude et l'erreur de la notion de communication puisque l'homme doit interpréter le sens des messages d'autrui. Depuis les années cinquante, la théorie dominante aussi bien en philosophie du langage qu'en linguistique computationnelle est la théorie des actes de langage. Elle est appliquée aux systèmes multi-agents (SMA) via les langages de communication agent (ACLs). L'usage des ACLs soulève de nombreuses problématiques. C'est pourquoi d'autres approches plus récentes se recentrent sur l'étude des dialogues et des conversations.

2 Théorie des actes de langages : «Quand dire c'est faire.»[1]

La théorie des actes de langage [1, 16, 24, 33] est issue de la philosophie du langage. Cette théorie rend compte du processus de communication entre agents cognitifs au sein d'une société : le langage par l'entremise de la langue. Initialement pensée pour le langage naturel, sa nature formelle la rend utilisable pour les modèles computationnels. L'idée maîtresse de cette théorie est qu'une instance d'utilisation de la langue est une action comme les autres. Pour chaque acte de langage «primitif», on distingue quatre composantes qui peuvent être vues comme quatre actes :

- *énonciation* : le locuteur fournit l'énoncé dans le contexte par transmission ou prononciation du message ; c'est le niveau physique.
- *acte locutoire ou locution* : l'interlocuteur (le ou les) a perçu l'énonciation. Il lui faut interpréter le sens de l'énoncé en terme de contenu propositionnel. Si le contenu propositionnel interprété est celui que le locuteur voulait transmettre on dira que l'aspect locutoire de l'acte est accompli avec succès. Par exemple : «Il pleut», «It's raining» et «Es regnet» sont trois énoncés différents qui correspondent à un seul acte locutoire de contenu propositionnel : il pleut. Dans la suite, on notera p ce contenu propositionnel qui correspond à ce qui est dit.
- *acte illocutoire ou illocution* : cet acte traduit les intentions du locuteur envers son(ses) interlocuteur(s). Une fois que l'interlocuteur a perçu et interprété le sens propositionnel de l'énoncé, il doit inférer ce que le locuteur a voulu exprimer par cet énoncé. «On va être riche» peut être interprétée selon le contexte comme une information, une prédiction, une promesse ou une blague ironique et cela change tout. Si l'interlocuteur saisit le sens que le locuteur a voulu donner à son énoncé on dira que l'acte illocutoire a réussi.
- *acte perlocutoire ou perlocution* : un tel acte porte sur les effets du message sur le destinataire : action, modification de croyance, modification de ses attitudes propositionnelles (AP) ; concerne la réaction du destinataire, les effets de son interprétation sémantique du message.

Le terme «acte de langage» est souvent employé pour désigner un acte illocutoire. Notons qu'il existe différentes variantes de cette théorie certaines étant «inférentielles» [3] et

[1] Selon le titre de l'édition francaise [2] de l'ouvrage de J.L Austin [1].

d'autres plus «analytiques» [25].

2.1 Force illocutoire et contenu propositionnel

Dans leurs analyses des différents types syntaxiques de phrases du langage naturel, certains linguistes ont précisé les aspects illocutoires. Les actes illocutoires (qui sont la transmission du sens d'une phrase dans un contexte donné) consiste en l'aplication d'une force illocutoire F sur un contenu propositionnel p, ce que l'on notera $F(p)$ dans le reste de ce texte. Par exemple, les énoncés «Allons-nous en !» et «Nous allons partir» ont le même contenu propositionnel (le locuteur et son entourage vont s'en aller) mais des forces illocutoires différentes (i.e. force illocutoire d'ordre et force illocutoire d'assertion pour le futur). D'après Searle et Vanderveken [27], chaque force illocutoire peut être divisée en six composantes : un but illocutoire, un mode d'accomplissement de ce but, des contraintes sur le contenu propositionnel, des conditions préparatoires, des conditions de sincérité et un degré d'intensité de ces conditions de sincérité. Détaillons cela.

Le but illocutoire

Le but illocutoire relie la proposition énoncée au monde réel. Pour Searle, il existe cinq utilisations du langage possible, ce sont les cinq buts illocutoires (on parle aussi des cinq types d'actes de langage) :

1. *assertif / représentatif* : le locuteur exprime un contenu propositionnel qui se réfère au monde passé, actuel ou futur tel qu'il se le représente. Exemples d'actes illocutoires assertifs : affirmation, assertion, conjecture, rappel, accusation, témoignage, prédiction...

2. *directif* : le locuteur donne une directive représentée par le contenu propositionnel au(x) destinataire(s). Exemples d'actes illocutoires directifs : ordre, demande, prière, invitation, conseil, recommandation...

3. *comissif / promissif / engageant* : le locuteur s'engage (vis à vis du destinataire) à accomplir l'action représentée par le contenu propositionnel. Exemples d'actes illocutoires comitifs : promesse, menace, renonciation, acceptation, voeux, serment...

4. *expressif* : le contenu propositionnel concerne l'humeur mentale et l'affect du locuteur. Exemples d'actes illocutoires expressifs : déclarations d'amour, félicitations, remerciement, insulte...

5. *déclaratif* : le locuteur accomplit l'action représentée par le contenu propositionnel du simple fait de sa locution. Exemples d'actes illocutoires déclaratifs : excommunication, nomination, ratification, leg, ajournement, bénédiction...

Le but illocutoire est la principale composante de la force illocutoire car il indique le lien du contenu propositionnel avec le monde. Un locuteur qui accomplit un acte illocutoire peut avoir toutes sortes de buts perlocutoires et d'autres intentions. Par exemple, il peut vouloir amuser, convaincre, embarrasser ou choquer. Mais dans tous les cas, il a au moins l'intention d'accomplir le but illocutoire de son acte concernant son contenu propositionnel. Une des justifications de la complétude de cette classification est que les cinq buts illocutoires couvrent les différentes directions d'ajustement possibles entre l'utilisation de la langue et le monde. En effet, d'un point de vue logique, il n'y a que quatre directions d'ajustement possibles pour un acte de langage :

1. *la direction d'ajustement des mots aux choses* : l'énoncé offre une représentation des choses (peut-être fausse). En cas de satisfaction d'un acte de langage ayant cette direction d'ajustement, le contenu propositionnel correspond à un état de chose existant indépendamment de l'énonciation dans le monde. Par exemple, les actes de langage ayant un but illocutoire assertif ont la direction d'ajustement des mots aux choses. En effet, ils ont pour but de représenter comment les choses sont dans le monde.
2. *la direction d'ajustement des choses aux mots* : l'énoncé propose un processus de changement des choses. En cas de satisfaction d'un acte de langage ayant cette direction d'ajustement, le monde est transformé de façon a satisfaire son contenu propositionnel. Les actes de langage ayant un but illocutoire directif ou comitif ont la direction d'ajustement des choses aux mots. Leur but est que le monde soit transformé (respectivement par l'interlocuteur ou le locuteur) de sorte qu'il corresponde à leur contenu propositionnel.
3. *la double direction d'ajustement* : l'énoncé est un changement des choses. En cas de satisfaction de l'acte illocutoire ayant la double direction d'ajustement, le monde s'ajuste au contenu propositionnel et cet ajustement consiste en l'énonciation elle-même. Les actes de langage dont le but illocutoire est déclaratif ont la double direction d'ajustement.
4. *la direction d'ajustement vide* : l'énoncé et les choses sont indépendant. Les actes de langage dont le but illocutoire est expressif ont la direction d'ajustement vide. Ce type d'acte de langage est toujours satisfait puisqu'il n'a pas affaire aux choses représentées mais à l'état mental du locuteur.

Au niveau linguistique, la théorie des actes de langages classique prévoit qu'il est possible de déterminer le type d'un acte à partir de sa forme linguistique. Les marqueurs lexicaux ou syntaxiques doivent permettre cette opération. C'est ce que l'on appelle «l'hypothèse de force littérale». La réalité n'est pas si simple. Seule l'utilisation «d'expressions performatives explicites» de la forme «Je te <verbe performatif> que ...» donne le type de l'acte réalisé sans ambiguïté (et encore, on peut trouver des cas discutables). Dans les dialogues réels, de nombreux actes de langage ne sont pas du type indiqué par leur forme linguistique (que nous nommerons forme littérale ou acte de surface). C'est ce que l'on appelle les actes de langages indirects. Par exemple, l'énoncé S_1 s'interprète en situation comme une requête à laquelle on répond en donnant une salière et non comme une question fermée (à laquelle on répond par oui ou non).

S_1 *: Peux-tu me passer le sel ?*

Bien des difficultés subsistent, quand à l'étude de ce type d'actes, et ce même si les travaux de Grice [17] sur la notion d'implicature fournissent des indications sur le type d'indirection réalisée pour passer de la question littérale à la requête indirecte.

Le mode d'accomplissement

La plupart des buts illocutoires peuvent être atteints de différentes façons. Ainsi, un acte de langage directif peut être réalisé de différentes manières : autoritaire, douce, supplicative... Le mode d'accomplissement spécifie comment le but illocutoire doit être atteint. En français, ceci est exprimé par des adverbes comme : obligatoirement, éventuellement, peut-être...

Les contraintes sur le contenu propositionnel

Certaines forces illocutoires imposent des conditions sur l'ensemble des contenus propositionnels qui pourraient leur être associés. Ainsi les actes de langage dont le but illocutoire est comissif ou directif doivent avoir un contenu propositionnel représentant des actions futures respectivement du locuteur ou des interlocuteurs. Par exemple lorsque le locuteur énonce une promesse, celle-ci doit avoir pour contenu propositionnel une action future du locuteur : «je ne le ferai plus, c'est promis !».

Les conditions préparatoires

Lors de la performance d'un acte illocutoire, le locuteur a généralement des croyances sur le contexte de son énonciation. Par exemple, un locuteur qui donne un conseil croit généralement que cela peut aider l'autre partie. Les conditions préparatoires d'une force illocutoire déterminent quelles doivent être les croyances du locuteur pour qu'il puisse accomplir un acte de langage ayant cette force.

Les conditions de sincérité

Dans l'accomplissement d'un acte illocutoire, le locuteur transmet un contenu propositionnel avec un but illocutoire, mais aussi des informations concernant ses états mentaux. Cela signifie que si la communication est une «extérieurisation», elle renseigne aussi sur l'état intérieur du locuteur. Par exemple, lorsqu'un locuteur énonce une demande, il a un but illocutoire directif auquel peut être associé un désir, un regret, une inquiétude... De tels états mentaux sont des attitudes propositionnelles $m(p)$ où :

- p est le contenu propositionnel
- m est un mode psychologique (croire, espérer, désirer, regretter...)

Comme tout locuteur peut mentir et transmettre des états mentaux qui ne sont pas réellement les siens, on peut distinguer les actes illocutoires sincères (le locuteur a les état mentaux qu'il exprime) des non-sincères. Les conditions de sincérité indiquent quels états mentaux devraient être présents chez le locuteur lorsqu'il produit un acte illocutoire sincère. Par exemple une condition de sincérité des actes illocutoires assertifs est que le locuteur doit croire le contenu propositionnel. De même, une condition de sincérité des actes illocutoires directifs est que le locuteur doit désirer que le contenu propositionnel soit accompli. Ou encore, une condition de sincérité des actes illocutoires comissifs est que le locuteur doit avoir l'intention de réaliser le contenu propositionnel.

Le degré d'intensité

Évidemment, les attitudes propositionnelles associées aux conditions de sincérité le sont avec une intensité qui dépend de la force illocutoire. Ainsi, une supplication dénote un désir plus grand qu'une simple demande. L'intensité d'une force illocutoire est donc indiquée par un degré.

2.1.1 Définition récursive de la force illocutoire

On distingue cinq forces illocutoires primitives qui sont les plus simples possibles :

1. *La force illocutoire primitive d'assertion* : cette force possède un but assertif, un mode d'accomplissement, un degré d'intensité et des conditions sur le contenu propositionnel neutres avec comme condition préparatoire que le locuteur ait des justifications ou des raisons de croire en la vérité du contenu propositionnel et comme condition de sincérité que le locuteur croit le contenu propositionnel.
2. *La force illocutoire primitive d'engagement* : cette force a un but comissif, un mode d'accomplissement et un degré d'intensité neutres avec comme condition sur le contenu propositionnel qu'il représente une action future du locuteur, la condition préparatoire que le locuteur soit capable d'accomplir cette tâche et la condition de sincérité qu'il ait l'intention de l'accomplir.
3. *La force illocutoire primitive directive* : cette force est définie par un but directif, un mode d'accomplissement et un degré d'intensité neutres avec la condition que le contenu propositionnel représente une action future de l'interlocuteur, la condition préparatoire que l'interlocuteur soit capable d'accomplir cette action et la condition de sincérité que le locuteur désire que l'interlocuteur accomplisse cette action.
4. *La force illocutoire primitive de déclaration* : cette force possède un but déclaratif, un mode d'accomplissement et un degré de puissance neutres avec la condition que le contenu propositionnel représente une action présente du locuteur, la condition préparatoire qu'il soit capable de l'accomplir (avec preuves) et la condition de sincérité qu'il en ait l'intention.
5. *La force illocutoire primitive expressive*[2] : cette force a tous ses attributs (but expressif, mode d'accomplissement, condition sur le contenu propositionnel, condition préparatoire, condition de sincérité et degré de puissance) neutres.

Les forces illocutoires non-primitives sont alors obtenues par application des opérations suivantes : ajout de conditions sur le contenu propositionnel, ajout de conditions préparatoires, ajout de conditions de sincérité, restriction du mode d'accomplissement et finalement modulation du degré d'intensité.

2.1.2 Actes illocutoires complexes

Il est important de noter que la notion de force illocutoire est itérable. On peut par exemple affirmer qu'une demande a été faite, proposer une demande ou demander une proposition, etc. Tous ces actes prennent la forme $F(F(p))$ ou plus généralement $F(...F(p)...)$ et il n'y a pas de limitations à ce type d'imbrication. En outre, certains actes illocutoires utilisant des connecteurs comme «et», «mais» ne sont pas de la forme $F(p)$. Il s'agit d'actes illocutoires dit complexe qui sont généralement de la forme $F_1(p_1) \wedge F_2(p_2)$. Par exemple A est à la fois une assertion et une question.

A : Il est six heure, non ?

Un certain nombre de connecteurs illocutoires ont été proposés par Searle et Vanderveken dans le cadre de leur logique illocutoire [27].

[2] Elle est réalisée syntaxiquement par des énoncés exclamatifs en français. Comme il n'existe pas de verbe performatif simple nommant cette force, il n'y a pas d'énoncé exclamatif exprimant seulement la force expressive primitive

2.2 Sémantique des actes de langage

2.2.1 Les conditions de succès des actes illocutoires

Les conditions de succès d'un acte illocutoire sont l'ensemble des conditions qui doivent être réunies dans le contexte de l'énonciation pour que le locuteur réussisse à accomplir cet acte. Les conditions de succès d'un acte de langage sont déterminées de façon univoque par la force illocutoire et le contenu propositionnel de l'acte de langage. Un acte illocutoire $F(p)$ est accompli avec succès si et seulement si le locuteur réalise le but illocutoire de la force F sur la proposition p avec le mode d'accomplissement, les conditions préparatoires, les conditions de sincérité, le degré de puissance de F et que p vérifie les conditions sur le contenu propositionnel de F. Par exemple, la condition de succès de la requête S_2 est que le locuteur doit espérer que le récepteur accomplisse les actions représentées par le contenu propositionnel à savoir manger sa soupe.

S_2 *: Mange ta soupe !*

De même, la condition de succès d'une promesse est que la locuteur doit être prêt à s'engager à accomplir les actions représentées par le contenu propositionnel dans le futur.

2.2.2 Les conditions de satisfaction des actes illocutoires

La plupart des actes de langages concernent le monde via leur contenu propositionnel. Même si un acte illocutoire est accompli avec ses conditions de succès remplies, il peut ne pas être satisfait quant à son rapport au monde. Un acte de langage est satisfait si son contenu propositionnel est rendu vrai selon la direction d'ajustement au monde propre à son but illocutoire. Les conditions de satisfaction d'un acte illocutoire sont les conditions qui doivent être réunies pour que l'acte de langage soit entièrement satisfait (trois composantes). Par exemple la condition de satisfaction d'une promesse est que le locuteur accomplisse ce qu'il a promis. De même, une demande (comme S_2) n'est satisfaite que si l'interlocuteur accomplit les actions qui sont représentées par le contenu propositionnel[3].

Les conditions de succès et de satisfaction font partie de la sémantique des actes de langages. Pour analyser la forme logique des actes illocutoires, l'idée est de définir récursivement à la fois leurs conditions de succès et de satisfaction et les conditions de vérité de leur contenu propositionnel.

2.2.3 La logique illocutoire

Développée par Vanderveken et Searle [27] dans les années 80, cette logique rend compte des relations d'implications entre actes de langage. Les quatre relations linguistiquement significatives sont :

1. *si* $success(act1)$ *alors* $success(act2)$ *et* $success(act3)\ldots$
   Certaines conditions de succès d'actes sont plus fortes que d'autres, par exemple : on ne peut demander à quelqu'un d'apporter un papier et un stylo sans lui demander d'apporter un stylo.

[3] Dans la théorie des actes de langage la notion de satisfaction est une généralisation de la notion de vérité.

2. *si* $satisfaction(act1)$ *alors* $satisfaction(act2)$ *et* $satisfaction(act3)\ldots$
   Certaines conditions de satisfaction d'actes sont plus fortes que d'autres, par exemple : si on a obtenu le papier et le stylo, alors on a le stylo.
3. *si* $satisfaction(act1)$ *alors* $success(act2)$ *et* $success(act3)\ldots$
   Certaines conditions de satisfaction d'actes sont plus fortes que les conditions de succès d'autres actes.
4. *si* $success(act1)$ *alors* $satisfaction(act2)$ *et* $satisfaction(act3)\ldots$
   Certaines conditions de succès d'actes sont plus fortes que les conditions de satisfaction d'autres actes. Par exemple, si une déclaration est réussie, l'assertion de son contenu propositionnel est vraie : le succès de la déclaration par un maire «Je déclare Manu et Sophie mariés.» entraîne la satisfaction de l'assertion «Manu et Sophie sont mariés.»

La logique illocutoire précise qu'un acte de langage satisfait est toujours réussi. Le succès des actes illocutoires complexes de la forme $F_1(p_1) \wedge F_2(p_2)$ dépend pour sa part du succès des sous-actes qui les composent.

2.2.4 Sémantique formelle, basée sur le calcul des situations

Le calcul des situations est une des plus simples solutions au problème de la représentation logique des actions et de leurs effets sur le monde. Son intérêt est de pouvoir représenter les changements d'état tout en gardant une mémoire des états passés. C'est donc un formalisme de description des changements en logique du premier ordre dans lequel les termes représentent des états du monde associés à des situations. On passe d'une situation à une autre par l'entremise d'actions. Concrètement, on ajoute simplement à toutes les relations ou propriétés susceptibles de varier dans le temps un argument supplémentaire de type situation. Beaucoup de travaux ont étendus et réglés un certain nombre de problèmes de ce formalisme [22]. Dans [4], il est utilisé par Chaib-draa et Vanderveken comme base pour définir une sémantique des actes de langage. Il y est étendu pour pouvoir représenter les états mentaux des agents. Initialement le calcul des situations était un formalisme logique du premier ordre, cette propriété est perdue dans ce type d'extension.

Pour chaque but illocutoire, les degrés d'intensité des actes illocutoires sont quantifiés avec des entiers relatifs. Par exemple les différents degrés pour des messages du type $< directive, p >$ pourraient être [30] :

$degree(order) = degree(command) = degree(require) = +1$
$degree(ask) = degree(request) = degree(tell.to) = 0$
$degree(suggest) = degree(advice) = degree(recommend) = -1$

Les conditions de succès et de satisfactions sont définies (via leurs prédicats respectifs) pour chaque force illocutoire primitive. Les actes illocutoires sont définis récursivement à partir des cinq actes illocutoires de base : $\|assert\|$, $\|commit\|$, $\|direct\|$, $\|declare\|$ et $\|!\|$. $\|\|$ est la fonction qui associe à chaque verbe illocutoire la force primitive qui lui correspond. Elle peut s'appliquer sur un contenu propositionnel p, p peut par exemple être associé à une assertion : $\|assert\|(p)$. Les forces illocutoires non-primitives sont alors obtenues par application des opérations suivantes : ajout de conditions sur le contenu propositionnel, ajout de conditions préparatoires, ajout de conditions de sincérité, restriction du mode d'accomplissement et finalement en modulant les degrés d'intensité. Par exemple $\|promise\|$ est obtenu à partir de $\|commit\|$ en ajoutant des obligations au mode d'accomplissement du but commissif et en accroissant le degré d'intensité de la force illocutoire.

3 Instanciation des actes de langage aux SMA

3.1 Les ACLs [Agent Communication Language]

En SMA, l'hypothèse la plus répandue est que la communication inter-agent sera plus fructueuse si elle se fait par l'intermédiaire d'un langage de communication explicite [9]. La propriété essentielle qui rend le langage utile, c'est que le sens de ses signes soit partagé. Ceci est vrai pour les langues vivantes mais aussi pour tout les signes codés comme les coups de sifflet d'un arbitre de football. Ce que l'évolution a permis pour les langages humains, la standardisation le tente pour les agents artificiels [14]. En effet, par analogie simplifiée avec les sociétés humaines, les actes de langage peuvent servir pour réaliser la communication entres agents cognitifs[4] dans des systèmes artificiels. On utilise alors :

– un dictionnaire de vocabulaire/signes commun(s) : l'ontologie des services (dont le sens est au moins partiellement commun aux agents) qui permet une interprétation commune des contenus propositionnels des actes de langage.
– des actes de langage utilisant cette ontologie qui servent de briques de bases de la communication et correspondent aux attitudes propositionnelles transmisent entre les agents.
– des protocoles ou règles de conversation communes pour structurer le dialogue entre les agents : en effet chaque acte de langage est à interpréter via son contexte et plus particulièrement en rapport aux autres actes de langages qui l'entourent temporellement. L'acte de langage prend son sens comme élément d'un contexte et plus spécifiquement d'une conversation (ce point est développé au chapitre 5).

Les ACL prennent donc place dans une couche logiquement supérieure à celle des protocoles de transfert (TCP/IP, HTTP, IIOP) et adressent le niveau intentionnel et social des agents. Ils se différencient donc des mécanismes de la théorie de l'information[5] non seulement par leur structure et leur syntaxe plus complexe, faisant appel à des interprétations sémantiques «mentalistes», mais aussi par leurs spécifications génériques et précises qui permettent aux systèmes développés d'être théoriquement ouverts[6]. Les ACL sont conçus pour permettre tout types d'applications pratiques aussi bien que théoriques. Les deux ACL les plus connus sont KQML et FIPA-ACL. Voyons en quoi ils consistent.

3.1.1 KQML [Knowledge Query and Manipulation Language]

Premier apparu, KQML fourni un ensemble d'actes de langage standards et utiles [11, 14]. Le langage est structuré selon trois niveaux enchâssés :

1. la couche de communication : renseigne la communication (identité du récepteur, de l'émetteur et nature de la communication). Elle est minimale car KQML ne prend pas en charge le transport lui-même (TCP/IP, SMTP, IIOP ou autres).
2. la couche message : donne des indications sur le contenu du message (langage et ontologie utilisé pour le contenu, type d'acte de langage attaché au contenu). C'est

[4] Il est important de noter que les agents sont ici cognitif et que l'analogie avec les sociétés humaines et leurs usages des langages naturels est forte car c'est ce qui différencie les ACL des autres moyens d'échanges d'information et de savoir entre applications tels que : RPC, RMI...

[5] La théorie de l'information, développée pas Shannon, sert de base théorique à la communication dans les réseaux informatiques.

[6] Historiquement, de nombreux SMA ont étés développés avec des mécanismes de communication adhoc autres que les actes de langage de la linguistique classique. Mais sans théorie sémantique générique et partagée, il est impossible aux agents d'autres systèmes de comprendre leurs messages.

la couche centrale de KQML qui définit le type d'interaction que des agents-KQML pourront avoir.

3. la couche de contenu : contenu du message exprimé en KIF [Knowledge Interchange Format], Prolog, KQML ou autre. Notons que KQML ne traite pas cette couche si ce n'est pour savoir où le contenu commence et se termine. Comme le contenu du message est opaque, c'est à la couche message de le renseigner.

KQML est muni d'une seule règle de conversation. Elle est simple, même si de nombreuses variantes sont permises. La conversation commence lorsque qu'un agent envoie un message KQML à un autre et se termine lorsque ce dernier répond. Les actes de langage autorisés par KQML sont restreint aux performatives. Ces performatives sont divisées en trois catégories :

1. 7 performatives de régulation de conversation traitent quelques cas particuliers (`sorry`, `error`) et permettent quelques variantes de la règle de conversation (`standby`, `ready`, `next`, `rest`, `discard`.) ;
2. 17 performatives de discours permettent l'échange d'informations et de connaissances (`ask-if`, `tell`...) ;
3. 11 performatives d'assistance et de réseau pour étendre la conversation à plus de deux agents (`forward`, `broker-all`...).

KQML est issu d'un projet de la DARPA [12], le KSE [Knowledge Sharing Initiative], initialement prévu comme moyen d'échange d'informations entre programmes à base de connaissances. Cependant, sa structure orientée message et la généricité de ses primitives lui permettent d'être utilisé comme ACL. C'est l'ACL le plus utilisé (et implémenté) dans la communauté SMA, il en existe différentes variantes.

3.1.2 FIPA[7]-ACL

C'est le seul effort réellement organisé pour créer un ACL standard. Il a été conçu pour palier aux faiblesses des différentes versions de KQML. FIPA-ACL[8] diffère de KQML car :

- FIPA-ACL inclut une sémantique précise basée sur une logique multimodale quantifiée. Par contre ce modèle sémantique est tellement complexe qu'un agent FIPA ne peut généralement pas déduire l'intention de l'agent émetteur. Pour les agents FIPA on doit donc mettre en oeuvre un certain nombre de simplifications sémantiques (comme les polices de conversation) pour aider à l'interprétation des messages. KQML, lui, a des sémantiques relativement simples qui peuvent être directement utilisées lorsque le domaine est restreint.
- KQML inclut un certain nombre de messages d'administration de réseaux qui simplifient la partie du développement concernant les flux de données, la registration, le courtage, les services de répertoires et autres. Dans FIPA-ACL, ces fonctions administratives sont assurées par l'usage de messages `REQUEST` et `INFORM` normaux aux contenus spécialisés.
- Comme FIPA-ACL est défini par une corporation de chercheurs, sa mise à jour est lente mais chaque version est scrupuleusement vérifiée. Le développement de KQML n'est pas centralisé et ainsi plusieurs variantes incompatibles sont nées.

[7] Foundation for Inteligent Physical Agents, voir [15] pour de plus amples renseignements.
[8] L'ACL de FIPA s'appel en fait ACL, mais pour éviter toute confusions nous le nommeront FIPA-ACL dans le reste du texte.

3.2 Sémantique des ACL

Si comme nous venons de le voir, il y a un «consensus» autour de la forme (syntaxique) que les ACL peuvent prendre, ce n'est pas le cas pour ce qui est de leurs sémantiques [9]. Il n'y a pas de modèle clair de la sémantique des actes de langage et moins encore de la sémantique des conversations. On pourrait dire qu'il s'agit du talon d'Achille de l'approche cognitiviste. Voyons tout d'abord ce que l'on entend ici par sémantique.

3.2.1 Concepts de base

Avant de parler de la sémantique des ACL, il peut être utile de rappeler comment on envisage la sémantique des langages formels. Prenons l'exemple de la sémantique des langages de programmation. La méthode la plus fréquemment utilisée pour spécifier la sémantique d'un programme consiste à définir les pré- et post-conditions de chaque élément de code[9]. Par exemple considérons l'instruction «$x := 3.8$». La sémantique de cette instruction inclut la pré-condition : «x est le nom d'un emplacement mémoire pouvant recevoir la valeur d'un nombre de type Réel» et la post-condition : «A l'emplacement mémoire dénoté par x on trouve la valeur 3.8»[10]. La pré-condition sert à imposer que l'instruction doit pouvoir être exécutée et la post-condition rend compte de l'effet minimal de l'instruction sur l'environnement du programme. La relation entre la pré- et la post-condition correspond à la description de la compréhension intuitive que l'on a de l'instruction, c'est pourquoi on parle de sémantique.

Les pré- et post-conditions des instructions dans les langages de programmation séquentiel sont exprimées en termes de valeurs des variables car la programmation informatique de ce niveau se limite à la manipulation de variables. Mais pour ce qui est des ACL, on travaille à un niveau supérieur. En fait, les pré-conditions et post-conditions des ACL devront être exprimées en termes d'attitudes mentales des agents en présence. En effet, les ACLs et leurs sémantiques doivent co-exister et s'aligner avec les théories mentales et comportementales des agents [9].

Une théorie comportementale abstrait un modèle de fonctionnement interne de l'agent (formalisation du raisonnement en dehors de toute instanciation) basé sur un modèle cognitif (représentation et structuration des connaissances). De telles théories doivent fournir pour un agent des éléments concernant par exemple : sa stratégie de raisonnement, ses modèles déductif/inductif, sa théorie de l'action et de la causalité, ses méthodes de planification et de satisfaction de buts, son système de dynamique de croyance et de révision de croyance, ses capacités ...[11] Dans tous les cas, la façon de communiquer d'un agent doit être compatible avec son fonctionnement interne (on ne peut pratiquer un langage que l'on ne comprend pas). On peut même dire que la capacité de communication d'un agent fait partie intégrante de son modèle cognitif et comportemental.

Fournir une sémantique formelle aux actes de langage va permettre d'analyser rigoureusement la compréhension des communications aussi bien dans les SMA que dans les sociétés humaines [4].

[9] Voir, par exemple, la méthode des triplets de Hoare.

[10] Et ce quel que soit la valeur dénotée par x auparavant.

[11] De telles théories peuvent être composées, par exemple :
- d'éléments sur le savoir et l'action (Moore) ;
- d'une architecture BDI (Rao et Georgeff) ;
- de savoir faire et gestion du temps (Singh) ;
- d'une théorie de l'intention (Cohen et Levesque).

	$\texttt{tell}_{\mathrm{A},B}(X)$	`proactive-tell`
$Pre(A)$	$Bel_{\mathrm{A}}(X) \wedge$ $Know_{\mathrm{A}}(Want_{\mathrm{B}}(Know_{\mathrm{B}}(S)))$	$Bel_{\mathrm{A}}(X)$
$Pre(B)$	$Int_{\mathrm{B}}(Know_{\mathrm{B}}(S))$ avec $S = Bel_{\mathrm{B}}(X)$ ou $S = \neg Bel_{\mathrm{B}}(X)$	
$Post(A)$	$Know_{\mathrm{A}}(Know_{\mathrm{B}}(Bel_{\mathrm{A}}(X)))$	$Know_{\mathrm{A}}(Know_{\mathrm{B}}(Bel_{\mathrm{A}}(X)))$
$Post(B)$	$Know_{\mathrm{B}}(Bel_{\mathrm{A}}(X))$	$Know_{\mathrm{B}}(Bel_{\mathrm{A}}(X))$
Complétude	$Know_{\mathrm{B}}(Bel_{\mathrm{A}}(X))$	$Know_{\mathrm{B}}(Bel_{\mathrm{A}}(X))$

TAB. 1 – Sémantique KQML des performatives `tell` et `proactive-tell`.

3.2.2 Sémantique de FIPA-ACL

La sémantique de FIPA-ACL est basée sur des pré-conditions de faisabilité des messages et des post-conditions décrivant les effets rationnels attendus. Le langage sémantique de FIPA-ACL (SL) est une logique multimodale avec des opérateurs pour les croyances (B), les désirs (D), les croyances incertaines (U), les intentions (but persistant PG). Basée sur les travaux de Cohen et Levesque sa forme actuelle est due à Sadek [14].

Contrainte

La sémantique actuelle de FIPA-ACL est alignée sur un modèle cognitif et comportemental incluant un certain nombre de primitives de type BDI [Belief, Desire and Intention]. Cette sémantique est donc basée sur des notions mentalistes telles que les croyances et les intentions. On a vu que les communications y sont vues comme un type d'action. Cela signifie, en pratique, que la théorie sémantique de FIPA-ACL repose sur une logique multimodale (croyance/intention) combinée à une théorie de l'action. Cela a pour conséquence que les agent qui veulent utiliser FIPA-ACL de manière sémantiquement cohérente doivent être conçus dans un style BDI.

3.2.3 Sémantiques de KQML

Contrairement à la sémantique de FIPA-ACL, la sémantique originelle de KQML ne présuppose pas que les agents soient de type BDI. La sémantique était juste contrainte par le fait que l'agent devait pouvoir manipuler une base de connaissances virtuelle (ajouter/extraire des assertions). Ces faibles contraintes ont laissé une grande liberté aux concepteurs et c'est pourquoi différentes sémantiques virent le jour [8]. Labrou et Finin [13] ont fourni une sémantique pour chaque performative en termes de pré-/post-conditions pour le locuteur et l'interlocuteur avec une condition de complétude en plus.

Par exemple (voir tableau 1), la pré-condition de `tell` pour le locuteur (A) impose que A croit ce qu'il dit (X) et qu'il sache que le récepteur (B) veut/désir savoir quoi croire sur X. La pré-condition de `tell` pour B est qu'il doit vouloir savoir quoi croire sur X. La post-condition d'un message `tell` pour B est qu'il peut conclure que A croît X. La condition de complétude s'assure que la performative a réussi dans le contexte de communication de A et B. En l'occurrence, il s'agit de la post-condition de B. Certains auteurs ont néanmoins préféré redéfinir une version moins contraignante de cette performative appelée `proactive-tell` .

Contraintes

Basée sur une logique multi-modale sophistiquée et intractable [19], cette sémantique contraint les agents a être conçus selon une architecture de style BDI, ce qui nous ramène au cas FIPA-ACL. On pourrait appliquer la sémantique présentée par Chaib-draa et Vanderveken [4] à KQML comme proposé dans leurs article, mais il en serait de même (par contre cette dernière prend en compte le degré d'intensité et certaines facettes des conditions préparatoires qui ont été laissées de coté par Labrou et Finin).

3.3 Problématiques autour des langages de communication agents

Les deux sections précédentes présentent des outils développés autour de la théorie des actes de langage. Il peut sembler que pour les SMAs, les théories formelles du langage naturel telles que la théorie des actes de langage soient pertinentes (c'est ce que nous avons montré dans les sections précédentes) moyennant quelques extensions : mise en place de protocoles, prise en compte des rôles sociaux... L'idée a donné lieu aux ACLs.

Plutôt que de discuter des limites de KQML ou de FIPA-ACL, on présente ensembles les limites des langages de communication agents. Et, comme le souligne Dignum [9], les problèmes soulevés par les ACLs tels qu'ils existent actuellement sont nombreux. Cela va des problèmes d'ontologie aux problèmes de complétude des ACLs. Par exemple, les ACLs ne sont pas adaptés aux sciences cognitives ou à ABSS [Agent Based Social Simulation], mais plutôt aux domaines pratiques (commerce, industrie...). Ici, on se concentrera sur les problèmes concernant la sémantique, la pragmatique et les problèmes concernant les protocoles seront abordés en .

3.3.1 Problèmes concernant la sémantique des ACLs

- *Problème de la minimalité sémantique* : les systèmes de pré/post-conditions permettent de rendre compte du sens minimal des messages des ACLs. Malheureusement, il est des situations où on a besoin d'un sens plus précis, spécifique au contexte. C'est un problème général de la théorie sémantique des ACLs. D'un côté, on veut que la sémantique soit suffisamment générique pour rendre compte de toutes les situations d'utilisation des ACLs. De l'autre, les systèmes de pré/post-conditions obtenus sont trop généraux et abstraits pour être adéquats à toutes les situations.
- *Problème de conformité sémantique* : les ACLs sont si génériques et explicites que leur pouvoir d'expression est très grand, mais les sémantiques bien définies qu'ils acceptent sont basées sur des logiques tellement puissantes que le calcul de la signification d'un message arbitraire par un agent demande tellement de déduction qu'il est typiquement formellement intractable. Pourtant, l'usage d'un ACL avec une sémantique complète, facilement extensible, est un énorme atout pour des SMA hétérogènes et ouverts. Il est très difficile de vérifier si les agents sont dans des états mentaux qui vérifient les pré/post-conditions car en fait, même si le problème est formellement bien-défini, le niveau computationnel ne suit pas.
- *Problème de l'alignement des sémantiques* : l'alignement de la sémantique d'un ACL sur le modèle cognitif et comportemental de l'agent pose problème quand ce dernier permet l'expression d'actes de communication qui ne sont pas sémantiquement définis dans le ACL. Ce type de problème peut advenir lorsque les contraintes (pourtant nécessaires) de la sémantique du ACL sont trop fortes pour l'agent. Cela arrive par exemple avec les conditions de sincérité. La plupart des sémantiques du ACL

(en particulier celles de FIPA-ACL et de KQML) ne permettent pas aux agents d'affirmer quelque chose qu'eux-mêmes ne croient pas. C'est une hypothèse simplificatrice pour les ACLs qui découle de l'analogie avec l'humain, qui ne communique généralement pas en supposant que son interlocuteur ment. Les théories comportementales sophistiquées permettent à l'agent d'agir avec l'intention de tromper (mensonge...) si cela l'aide à atteindre ses buts[12]. La condition de sincérité le met donc dans l'impossibilité d'exprimer ce qu'il désire exprimer. Notons que d'autres hypothèses simplificatrices (comme la reliabilité sûre) pour les ACLs peuvent poser des problèmes avec les modèles comportementaux des agents.
- *Problèmes liés à la distribution et à l'autonomie des agents* : les sémantiques des ACLs doivent tenir compte du fait que les agents sont distribués et autonomes (idéalement). Pour un programme ordinaire, les post-conditions peuvent être précisément calculées car son contexte est accessible et les différentes actions/instructions ne sont pas autonomes les unes des autres (programmation séquentielle). Cette distinction pose pour les ACLs une barrière entre l'effet espéré d'un acte de langage et son effet réel. Quand un agent A transmet l'information X à B, il a l'intention que B va au moins croire que A croit X. Mais comme les agents sont autonomes, un agent ne peut jamais changer directement les croyances d'un autre et l'effet d'un acte de langage n'est jamais garanti. Autrement dit, les agents n'ont pas le contrôle des effets perlocutoires de leurs actes de langage et de leurs communications en général.

3.3.2 Problèmes concernant la pragmatique

- *Problème de prise en compte du contexte social* : l'interférence du contexte social sur l'utilisation des ACLs. Le contexte social contraint les actions (y compris les actes de langage) que les agents peuvent entreprendre par le biais d'obligations, de normes et d'engagements de toutes sortes. Ce type de contraintes ne sont pas prises en compte par les théories sémantiques actuelles des ACLs.
- *Problème d'expression de la pragmatique* : le comportement communicationnel d'un agent est le résultat implicite ou explicite de sa planification. Par exemple, une question est posée en attente d'une réponse et cette réponse est censée participer à la progression de l'agent vers ses buts ou l'achèvement d'une tâche. De même un service est demandé dans le but que l'autre agisse en conséquence. D'un certain point de vue, cela devrait faire partie des pré-conditions de ce type d'actes de langage. Ces pré-conditions de type pragmatique sont pourtant très difficiles à exprimer avec les théories sémantiques actuelles des ACLs.

3.4 Conclusion

On voit donc que les problèmes soulevés par les langages de communication agents sont nombreux. Notons que ceux qui concernent plutôt les aspects sociaux de la communication inter-agents sont neufs. Néanmoins, les réseaux d'obligation, de droit, d'influence, de pouvoir et de confiance des sociétés humaines sont de plus en plus étudiés et adaptés aux agents que ce soit pour les sciences cognitives (sociologie, linguistique...), l'ABSS, l'économie, l'e-commerce ou même l'industrie...

Ainsi, l'application des actes de langage a permis d'en montrer les limites à l'usage. Ces limites sont donc aussi celles de la théorie des actes de langage. Il s'agit d'une théorie

[12] Cas fréquent en e-commerce et plus généralement en économie lors de stratégie de maximisation de gain.

de l'énoncé, unité de conversation incontournable mais qui ne rend pas compte des macro-structures langagières comme le discours ou le dialogue ni d'un certain nombre d'aspects pragmatiques du langage naturel. Malgré ces limites, la théorie des actes de langage reste une base solide pour traduire les énoncés, reste à voir si leur rôle est central ou pas.

Dans la section suivante, nous allons présenter des éléments sur le dialogue en langage naturel ainsi que l'ébauche de théories utilisant les actes de langage uniquement pour la formalisation des énoncés. Dans une section ultérieure, nous discuterons des protocoles et des polices de conversations utilisés dans les SMAs et qui sont des alternatives peu souples et sans fondations théoriques.

4 Dialogues et conversations

4.1 Introduction et définitions

Dans les sections précédentes nous avons traité de la génération et de l'interprétation d'actes de langage primitifs avec les ACL. Dans les sociétés humaines, un acte de langage est rarement utilisé seul. La communication (au sens général défini à la section 1) dans les sociétés humaines prend différentes formes. On se restreint ici à l'utilisation du langage naturel, un système de signes parmis d'autres. On distingue le discours (un locuteur) du dialogue et de la conversation (au moins deux intervenant). Ce qui différencie le dialogue de la simple communication (le discours), c'est la recherche d'une inter-compréhension. Cette recherche impose aux interlocuteurs de s'assurer qu'ils se comprennent pour co-construire des interprétations communes. Par exemple, un dialogue de sourd n'est pas un dialogue. Si l'un des interlocuteurs n'intègre jamais la vision de l'autre dans la sienne, la co-construction est bloquée. Cette recherche d'inter-compréhension peut être synchrone (dialogue oral[13]) ou asynchrone (courrier, courriel, forum de discussion).

La co-construction d'une interprétation commune ne signifie pas que les interlocuteurs doivent être d'accord. Ils peuvent avoir l'interprétation commune de leur désaccord. Ajoutons que cette co-construction semble réussir plus ou moins selon un grand nombre de facteurs inhérents aux interlocuteurs (proximité culturelle et sociale, historique de leur relation...). La recherche d'une inter-compréhension optimale est facilitée par :

- la recherche d'un langage commun : sans langage commun, le dialogue est difficile. Notons que cette recherche se poursuit au cours du ou des dialogues par la construction de références communes [7] ;
- la capacité à détecter les ambiguïtés et les incohérences dans le discours d'autrui ;
- la production et la recherche de feedback de compréhension : pour s'assurer de leur compréhension réciproque, les interlocuteurs fournissent et cherchent chez l'autre des indices de compréhension. Ces indices peuvent être positifs (manifestations d'une bonne compréhension : signes d'acquiescement verbaux ou non-verbaux) ou négatifs (demande de clarification et d'explication), explicites ou implicites.
- les échanges correctifs : la qualité de l'inter-compréhension repose sur des interprétations. Comme il peut toujours y avoir erreur d'interprétation, la capacité à corriger sa compréhension ou celle d'autrui est fondamentale.
- la capacité à méta-communiquer : l'évitement et la résolution de conflits de compréhension peuvent nécessiter de dialoguer sur l'activité de dialogue en cours.

Toutes ces caractéristiques sont à la base d'une propriété plus générale du dialogue : l'interactivité. Il y a interactivité lorsque les actions des uns sont influencées par les ac-

[13] Éventuellement porté par écrit, comme les pièces de théâtres ou les exemples de ce texte.

Orienté processus	Orienté structure
Peu de contraintes sur le type de contribution	Beaucoup de contraintes sur le type de contribution
De multiples buts essentiellement locaux	Peu de buts globaux
Ordre d'intervention assez libre	Ordre d'intervention assez fixe
Rôle des participants pas très bien défini	Rôle des participants bien défini
Contribution dépendante des contributions passées	Contribution rarement dépendante des contributions passées
Principe d'organisation local	Principe d'organisation global

TAB. 2 – Dialogue orienté structure vs orienté processus.

tions des autres. Cette propriété à une implication majeure : la non-prédictibilité globale de la structure du dialogue. Ces vingt dernières années, les structuralistes ont entrepris de nombreux travaux sur le dialogue. Les outils structuralistes étant des outils d'analyse structurelle, ces tentatives ce sont soldées par des échecs. En effet, au contraire des phrases ou même du discours, les conversations ne sont généralement pas l'expression de structures régulières, mais plutôt des co-constructions complexes. Néanmoins, on peut tout de même différencier les conversations orientées, cadrées ou contraintes, d'autres plus libres. Par exemple, des conversations orientées telles que les enchères, les entretiens d'embauche, les interrogatoires, les dialogues patient-docteur lors d'une consultation, ou encore les échanges entre élève et professeur sont plus structurées que des conversations libres entre amis. On dira que ces conversations contraintes sont orientées structure et les conversations libres orientées processus. Le tableau 2 récapitule les différences entre ces deux types de conversation en reprenant les caractéristiques majeures du dialogue contraint et du dialogue libre (d'après [26]). Dans le cas des conversations orientées processus, les environnements cognitifs des participants ne sont pas prévisibles car :
- ils dépendent du «*background*» individuel de chaque participant ;
- ils changent constamment au cour du processus.

4.2 Typologie des dialogues

Krabbe et Walton ont fourni une typologie des dialogues entre agents[14][31]. Pour chaque type de dialogue, ils précisent une situation initiale, un but primaire et un ensemble de règles. Voyons brièvement cette typologie telle qu'elle est présentée dans [10] :
- La persuasion :
  Le dialogue persuasif est utilisé lors d'un conflit d'opinion entre les deux agents. Il a pour but de résoudre le conflit de manière verbale.
- La négociation :
  Elle a pour situation initial un conflit d'intérêt. Son but principal est d'arriver à un arrangement (i.e. résoudre le conflit).
- L'investigation :
  Elle a pour situation initiale l'ignorance de tous sur la réponse à une question donnée. Son but est d'accroître les connaissances sur le sujet pour arriver à une

[14] En outre, ils ont fourni un modèle qu'ils appellent normatif de la façon idéale, raisonnable et coopérative de dialoguer d'un agent pour chaque type de dialogue de leur typologie.

réponse. Elle utilise un processus d'argumentation incrémental qui recense les faits établis pour en déduire des conclusions raisonnablement fiables. Ce processus met en jeu autant la recherche d'information que le raisonnement.

- La délibération :
  Elle répond à un besoin lié à la prise de décision. Le but est de décider de l'action à choisir. Elle utilise le raisonnement pratique comme moyen (*practical reasonning*).
- La recherche d'information :
  Elle advient lorsqu'un agent est ignorant sur un sujet et cherche à accroître son savoir auprès des autres agents.
- La dispute :
  «L'engueulade» est une technique (peu efficace) de résolution d'un conflit par la violence verbale.

4.3 La conversation comme action commune :

Il existe de nombreux travaux sur la sémantique des actes de langage (voir 2.2). Mais aucune étude formelle ne traite de la sémantique d'une conversation. On pourrait penser que la sémantique d'une conversation est obtenue par composition des sémantiques des actes de langage qui la compose. Il n'en est rien. Illustrons cela à l'aide d'un exemple. Le graphe de conversation pour l'action de Winograd et Flores [32] montre qu'une simple demande est un processus complexe composé de plusieurs actes de langage impliquant le demandeur mais aussi l'agent à qui la demande est faite (voir 1). Une telle demande est une action commune complexe et la sémantique des actes de langages qui compose le graphe ne saurai rendre compte de la sémantique de la conversation dans sa généralité (en particulier sa structure).

Cet exemple, parmis d'autres, montre que la communication entre agents se fait par conversation, séquence d'actes de langage dont la somme des sens isolés ne rend pas compte de la signification. C'est pourquoi, de nombreux chercheurs rendent aux conversations leur dimension sociale et tentent d'analyser le dialogue du niveau conversationnel vers le niveau des actes de langage plutôt que le contraire. Cohen et Levesque ont proposé leur point de vue avec les buts persistant et les croyances mutuelles [8]. Grosz a proposé les plans partagés [18], Singh l'engagement commun [28] et Traum étudie les croyances mutuelles [29]. Chaib-draa et Vanderveken partent dans la même voie avec les idées de Searle et Clark qui voient la conversation comme une *activité commune* des agents qui y participent. Cette activité commune est une séquence d'actions dont la plupart sont des *actions communes* [6].

4.3.1 Engagements communs sur des projets communs

Pour Searle [26], toute conversation est l'expression d'une intentionnalité partagée (*We-intention*). Ce type d'intentionnalité transcende la conjonction des états intentionnels individuels. Cette intentionnalité partagée est un facteur d'explication important pour tous les comportements sociaux. Il considère cette intentionnalité collective comme un élément de base qui ne se réduit pas à la somme des intentionnalités individuelles (*I-intention*) et de leurs connaissances mutuelles. Néanmoins des *I-intention* sont incluses dans la *We-intention*. Dans ce cadre les conversations sont des formes de *We-intention*. Par exemple, la *We-intention* «nous parlons du prix de X» inclus la *I-intention* (pourtant très différentes) «j'offre 5$ pour X» et la *I-intention* «je refuse ton offre».

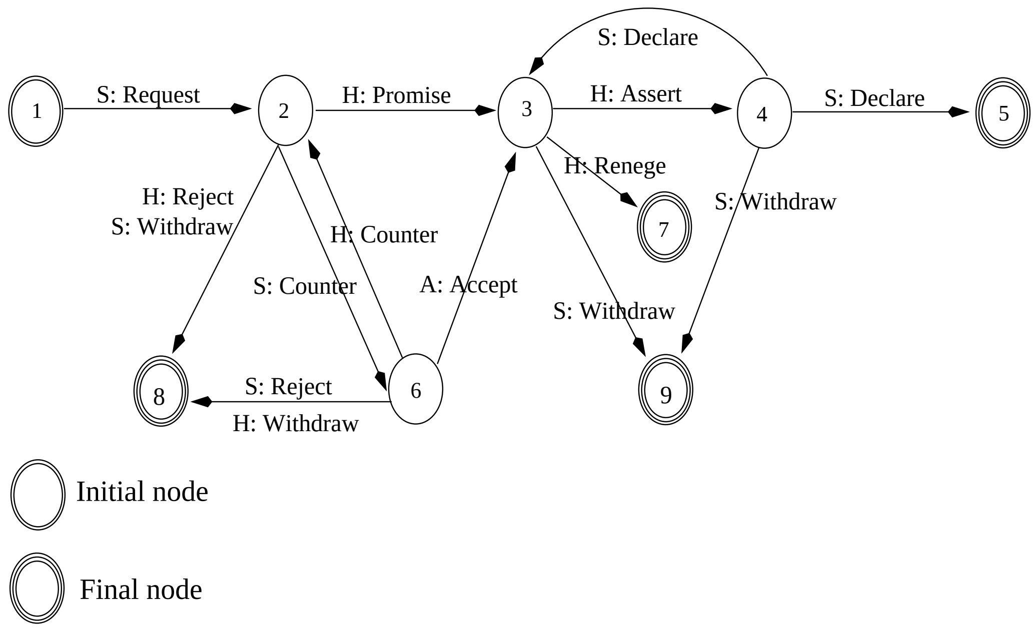

FIG. 1 – Graphe d'une requête par Winograd et Flores.

Clark, lui, considère l'usage social du langage comme un *type d'activité commune.* Il utilise le concept de *type d'activité* de Levinson [20], qui est une notion plus générale que la notion de type de discours car elle inclut des évènements sociaux autres que le discours ou dans lesquels le discours n'a qu'une place incidentale. Il introduit la notion de *projet commun*. Un *projet commun* est une action commune proposée/suggérée par un des participants et acceptée/réalisée par tous. Un *projet commun* est un plan pour accomplir une activité ensemble. Pour avoir des chances d'aboutir, un *projet commun* nécessite l'engagement de tous les participants. Ainsi on peut dire que les *We-intentions* sont des *projets communs* avec des *engagements partagés*.

Lors d'une conversation libre, l'*intention commune* doit émerger des interlocuteurs et de la conversation elle-même. Cette émergence est partie intégrante de la conversation et est l'objet d'évaluations et de négociations continues entre les interlocuteurs. Dans le cas des conversations orientées/contraintes, cette *intention commune* pré-existe souvent. En effet, les conversations contraintes ont un propos, un sujet ou un but auquel se raccrocher. On peut voir les protocoles de communication utilisés avec les ACLs comme l'expression d'autant de projets communs. Chaque participant doit s'engager dans le projet commun, après quoi il s'agit d'une intention commune.

Quand les agents prennent part à une *activité commune*, à l'exécution d'un *plan commun* ou à un *projet commun*, ils accomplissent des actions communes. Beaucoup de ces actions communes (ou de leurs parties) sont des actes de communication nécessaires au bon accomplissement de l'action (se faire comprendre, tester la compréhension des autres, divulguer une information...). Cela nous amène à considérer les actes de langage sous une nouvelle perspective. En effet on ne peut plus étudier les actes de langage sous la seul perspective du locuteur. Il nous faut étudier pour le locuteur comme pour l'interlocuteur :

le rôle de l'acte dans la conversation, les liens de l'acte aux autres actes de la conversation, étudier aussi, la façon dont le locuteur génère l'acte dans ce contexte et la manière dont l'interlocuteur peut comprendre ce que veut lui dire le locuteur et qui peut relever de ces liens plus que de l'acte lui-même.

4.3.2 Le problème de la coordination pour un projet commun.

Lors de l'émergence d'une activité commune, les agents doivent passer de l'état non-engagé à l'état engagé dans l'activité. Pour se faire, ils doivent se coordonner pour répondre dans les faits aux questions concernant :

- *les participants* : qui sont-ils et quels sont leurs rôles ?
  Il peut y avoir des agents qui sont de simples observateurs et qui ne participent pas à la conversation.
- *le début* : quand commence l'activité ?
- *le contenu* : quelle partie de l'activité chaque participant doit-il accomplir ?

Évidemment, ces questions ne peuvent pas être posées ainsi par des agents dès lors que l'activité n'est pas connue à l'avance. Ici on suppose que la conversation commence par la proposition d'un projet commun par un des participants. Clark distingue quatre niveaux dans la communication langagière [6]. Chacun de ces niveaux est une action commune et nécessite que les agents se coordonnent :

1. *niveau comportemental* (le locuteur exécute / l'interlocuteur prête attention) : l'émetteur d'un message doit d'abord s'assurer de l'attention du récepteur.
2. *niveau du signal* (le locuteur présente / l'interlocuteur identifie) : l'émetteur d'un message doit s'assurer de la bonne réception de celui-ci par le récepteur
3. *le niveau du sens du signal* (le locuteur signifie / l'interlocuteur comprends) : le locuteur doit s'assurer de la bonne compréhension du message par l'interlocuteur. Les participants doivent avoir la même interprétation de l'information.
4. *le niveau du projet* (le locuteur propose / l'interlocuteur considère) : les participants doivent avoir identifié le projet, vouloir le réaliser, chacun doit être capable d'accomplir sa part du projet commun et enfin tous les participants doivent avoir les croyances mutuelles communes des points précédents et de celui-ci.

Ces niveaux ont une propriété de causalité descendante. En effet, proposer un projet (niveau 4) nécessite de s'assurer de la bonne compréhension de l'interlocuteur (niveau 3), ce qui implique de présenter un signal et de s'assurer de sa bonne réception (niveau 2), ce qui requiert l'exécution d'un comportement pour attirer l'attention (niveau 1). Ainsi, valider un niveau signifie que tous les niveaux inférieurs sont validés.

Le dialogue et la résolution de problème coopérative via la formation d'équipe

Dès lors que la conversation est un processus (structuré ou non) collectif, et puisque l'inter-compréhension nécessite la coopération des participants[15], la co-construction de conversation peut être rapprochée du processus de résolution coopérative de problème. Voyons pourquoi il s'agit d'une fausse piste. Pour Dignum, la résolution coopérative de problème peut être divisée en quatre étapes dont les deux premières sont détaillées sous forme logique dans [10] :

[15] Attention, juste l'inter-compréhension.

1. Trouver les membres potentiels de l'équipe :
   a. reconnaissance potentielle des membres de l'équipe.
   Il doit exister un but commun pour l'équipe (proposé par un des agents ou imposé de l'extérieur). Dans la suite, on fait l'hypothèse que ce but commun est unique. Il doit y avoir un agent pour gérer et prendre l'initiative (il est soit volontaire et donc très motivé ou désigné et responsable quand même).
   b. l'initiateur doit envisager un plan abstrait (peut-être partiel).
   En fonction des sous-buts qu'il reconnaît, il va déterminer quels sont les agents les plus adéquats pour réaliser les différentes tâches. La capacité des agents à faire partie de l'équipe est fonction de leurs aptitudes, de l'opportunité et de leur volonté à participer à la formation de l'équipe.
   Finalement, l'initiateur a la croyance qu'une séquence d'équipes potentielles qui peuvent être formées pour résoudre le problème existe ou pas. Il divulgue cette croyance aux autres agents.
2. Former l'équipe :
   Même si il s'est assuré que les membre des équipes potentielles étaient volontaires pour participer à la formation de l'équipe, l'initiateur doit persuader ces membres d'adopter les sous-buts qui leur reviennent et le but global comme intentions individuelles. La persuasion peut commencer par l'agent à qui l'initiateur avait assigné une tâche cruciale, elle se fait en plusieurs étapes :
   a. échange d'information ;
   b. persuasion rigoureuse ;
   c. négociation imbriquée dans la persuasion si nécéssaire.
3. Trouver un plan pour l'équipe à partir du plan partiel :
   L'initiateur doit trouver un plan pour l'équipe.
4. Exécuter le plan :
   Finalement, l'équipe devra exécuter le plan pour résoudre le problème.

Cette méthode se présente comme un algorithme dont nombre des actions sont des dialogues (dialogue de persuasion, d'échange d'information, de négociation). Cela met en évidence l'importance des dialogues dans la résolution coopérative de problème. Cela montre aussi l'impossibilité de définir la co-construction d'un dialogue comme une résolution de problème coopérative. Le dialogue se place en fait à un niveau plus fondamental que celui de la résolution de problème coopérative telle qu'elle est décrite par Dignum. Indépendament, le gros problème de cette méthode est d'établir un contrôle centralisé. Un unique agent forme une équipe et lui élabore un plan, il ne reste plus pour l'équipe qu'a exécuter le plan solution. L'intérêt de la méthode est réduit d'autant.

4.3.3 Paires adjacentes et projets communs étendus

Les projets communs peuvent être de toutes tailles. Une conversation entre agents est un projet commun, mais certaines de ses parties le sont aussi. Un projet commun minimal est souvent une paire d'actes de langage nommée *paire adjacente*. Par exemple, les couples question-réponse sont des paires adjacentes, ou encore les formules type, comme «Bonjour» / «Bonjour, comment vas-tu ?». Selon [23], une paire d'adjacence est une séquence de deux énoncés : (i) adjacents, (ii) produits par deux locuteurs différents (iii) ordonnés en un premier et un second élément (iv) typés, de manière à ce qu'un premier élément requiert un ou plusieurs second éléments. Une fois qu'il a produit le premier élément, le locuteur courant doit arrèter de parler et le prochain locuteur doit produire le second élément.

La condition d'adjacence stricte de cette définition semble trop stricte et à été critiquée. Levinson [21] raffine cette approche à l'aide de listes de préférences pour les seconds éléments. Ces paires adjacentes constituent les projets communs de base, de plus gros projets peuvent être créés par extension. Un projet commun étendu ne préexiste pas, il émerge à partir d'un projet de base par application d'une ou plusieurs des méthodes suivantes [5] :

– *imbrication* : le projet commun est étendu en y imbriquant un autre projet. Dans l'exemple suivant, le projet $<B_2, A_2>$ est imbriqué dans $<A_1, B_1>$:
  A_1 : Quel film veux-tu voir ?
  B_2 : Quel est le dernier sorti ?
  A_2 : «Les idiots» de Lars Von Tries.
  B_1 : Bien, je veux voir les idiots alors.
– *chaînage* : la fin du projet commun correspond avec le début d'un autre projet commun. C'est le cas dans l'exemple suivant du type question-réponse-assentiment (vérification-réponse-verdict) ou B_{1+2} est à la foi le second élément de $<A_1, B_1>$ et le premier de $<B_2, A_2>$:
  A_1 : Quel est le dernier film sorti ?
  B_{1+2} : Je crois que c'est «Les idiots» de Lars Von Tries, non ?
  A_2 : Oui, tu as raison, j'en ai entendu parler à la radio ce matin.

– *pré-séquence* : le locuteur anticipe sur le début d'un projet commun, il s'agit d'une phase préparatoire. En fait le locuteur essaie de remplir les conditions préparatoires en anticipant un projet commun ou même un simple acte de langage. Il éxiste différents types de pré-séquences : pré-annonce (lorsque que l'on doit annoncer une information grave…), pré-narration, pré-invitation… A_1 : Tu veux toujours aller au cinéma ?
  B_1 : oui.
  A_2 : Quel film veux-tu voir ?
  B_2 : On avait dit «Les idiots».

On peut reformuler la notion de projet commun de manière inductive. Un projet commun est soit :
– une paire adjacente ;
– un chaînage de projets communs ;
– une pré-séquence suivie d'un projet commun ;
– l'imbrication de deux projets communs.

Comme il faud un contrôle sémantique de la pertinence des projets communs ainsi créés, le problème de leur génération dynamique reste entier. Au niveau de la strucutre globale du dialogue les projets communs s'enchainent comme $<A_1, B_1>$ et $<A_2, B_2>$ dans l'exemple suivant :
A_1 : Au revoir.
B_1 : Au revoir.
A_2 : Bonjour.
B_2 : Bonjour.
On note une anomalie dans cet exemple puisque celui-ci commence par une séquence de fermeture et se termine par une séquence d'ouverture. Un dialogue est généralement structuré comme un chaînage d'au moins trois projets : (i) séquence d'ouverture, (ii) corps

du dialogue et (iii) séquence de fermeture.

5 Dialogues dans les SMA

Le dialogue dans un SMA peut être défini comme une séquence de communications entre au moins deux agents. Chaque agent parlant à son tour [9]. La pratique a sur ce point devancé la théorie car les recherches dans ce domaine en sont à leurs balbutiements (voir 4.1). Le domaine n'a pas encore sa terminologie, peu de références théoriques, et les recherches sur la pragmatique du langage naturel et sa formalisation sont encore exploratoires. Il faut aussi noter que les problèmes vus pour les ACLs (voir 3.3) sont ici démultipliés par la présence de différents agents utilisant plusieurs actes de langage.

5.1 Règles de conversation en KQML

KQML est muni d'une seule règle de conversation. Elle est simple, même si de nombreuses variantes sont permises. La conversation commence lorsque qu'un agent envoie un message KQML à un autre et se termine lorsque ce dernier répond. Les variantes sont obtenues par l'utilisation des performatives de régulation de conversation. Comme leur nom l'indique, ces performatives permettent aux agents d'intervenir dans le cour normal d'une conversation. Elles permettent notament d'enrichir une conversation en prolongeant la règle par défaut (`standby`, `next`, `rest` ou `discard`) ou au contraire de mettre prématurément fin à une conversation (`eos`, `error` ou `sorry`). La thèse de Labrou [19], présente un certain nombre de mini-conversations ainsi que leurs sémantiques et les contraintes qui lient les différentes performatives les composant. Ces mini-conversations sont conçues pour servir de briques de base pour des échanges plus importants.

5.2 Protocoles de communications de FIPA-ACL.

FIPA-ACL, contrairement à KQML, fournit un certain nombre de protocoles de communication impliquant chacun plusieurs actes de communication (CA). Par exemple : demande d'action, contract net, différents types d'enchères...

5.3 Problèmes concernant les protocoles

Les protocoles palient à un problème majeur des ACLs hérité de la théorie des actes de langage. En effet, la théorie des actes de langage est une théorie de l'énoncé «isolé» ; or, la communication donne lieu à des discours ou conversations qui sont des ensembles d'énoncés inter-dépendants. Chaque agent doit posséder une procédure de décision qui lui permet de choisir puis de générer des actes de langage en fonction de ses propres intentions. Il ne s'agit pas simplement d'un matching de la sémantique de l'ACL avec les intentions de l'agent. Pour être pertinent, l'agent doit au minimum prendre en compte le contexte de son acte de langage (les événements en cours et passés, y compris les actes de langages précédents). Cela pose le problème du lien entre la théorie sémantique d'une performative d'ACL et la conversation à laquelle elle participe. D'un coté, il semble clair que le sens général d'une conversation (les engagements/promesses/informations qui y circulent) ne peut se passer du sens des performatives qui la constituent. De l'autre, certains chercheurs pensent que la sémantique de la conversation elle-même doit être vue comme une primitive. Dans cette voie, les éléments de base de la sémantique des conversations doivent être sociaux plutôt qu'individuels pour être compatibles avec les théories ou leurs ébauches présentées ci-dessus (voir 4.3). Les activités, actions et intentions communes sont alors les éléments de bases des ces sémantiques au même titre que les croyances, désirs et intentions personnels.

Actuellement, la prise en compte du contexte se fait de manière simplifiée par l'utilisation de conversations pré-planifiées, stéréotypées. Cela permet de réduire considérablement l'espace de recherche pour la réponse à donner tout en restant consistant avec la sémantique. Du fait de cet avantage computationnel, quasiment tous les SMA utilisant un ACL sont dotés d'une couche «conversation», qu'elle soit explicite ou implicite. La spécification de ces conversations se fait à l'aide de polices de conversation qui sont en fait de petits protocoles. Même si les conversations peuvent être structurées, ce type d'approche semble trop rigide (les conversations orientées structure, voir 4.1) à la majorité des chercheurs.

En outre, malgré cette apparente simplicité, l'utilisation de polices de conversation soulèvent un certain nombre de questions. Tout d'abord, il existe plusieurs candidats non-équivalents pour la spécification de polices de conversation : les réseaux de Pétri, les réseaux de transitions à états finis, les arbres de sous-buts ainsi que d'autres approches fondées sur la logique. Ces formalismes offrent des degrés de souplesse des conversations envisageables très variables. Puis, comment implémenter les polices de conversation dans les systèmes multi-agents ? Doivent-elles faire partie de l'axiomatique de la communication ? Comment apprend-t-on de nouvelles polices ? Comment intégrer les polices de conversation au sein du fonctionnement de l'agent ? etc...

6 Conclusion

Le dialogue n'est pas réductible aux actes de langage, ceux-ci et les ACLs qui en découlent ont montrés leurs limites à l'usage. C'est la raison d'un regain d'énergie autour de l'étude théorique du dialogue et des conversations. L'accent est de nouveau mis sur les aspects sociaux de la communication. Un acte de langage étant rarement utilisé seul, c'est désormais l'étude de la co-construction d'interprétations communes lors d'échanges qui prévaut. Tout en fesant la synthèse des trois articles [4, 5, 10], on a présenté les concepts permettant de comprendre pourquoi ce renouveau est nécéssaire.

Références

[1] J. L. Austin. *How to Do Things With Words.* Oxford University Press : Oxford, England, 1962.

[2] J. L. Austin. *Quand dire, c'est faire.* Seuil, 1962.

[3] K Bach and R.M Harnish. *Linguistic Communication and Speech Acts.* MIT Press, Cambridge, Mass., 1979.

[4] B. Chaib-draa and D. Vanderveken. Agent communication language : Toards a semantics based on success, satisfaction, and recursion. In *ATAL98*, Paris, 1998.

[5] B. Chaib-draa and L. Vongkasem. Acl as a joint project between participants : A preliminary report. In F. Dignum and M. Greaves, editors, *Issues in Agent Communication*, number 1916 in Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 235–248. Springer, 2000.

[6] H.H Clark. *Using Language*. Cambridge University Press, 1996.

[7] H.H. Clark and D. Wilkes-Gibbs. Refering as a collaborative process. *Cognition*, 1(22) :1–35, 1986.

[8] P.R. Cohen and H.J Levesque. Performatives in a rationally based speech act theory. In *28th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pages 79–88, Pittsburg, 1990. Springer-Verlag : Heidelberg, Germany.

[9] F. Dignum. Issues in agent communication : An introduction. In F Dignum and M. Greaves, editors, *Issues in Agent Communication*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 1–16, 2000.

[10] F. Dignum, B. Dunin-Keplicz, and R. Verbrugge. Dialogue in team formation. In F Dignum and M. Greaves, editors, *Issues in Agent Communication*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 265–280, 2000.

[11] T. Finin and R. Fritzson. KQML — a language and protocol for knowledge and information exchange. In *Proceedings of the Thirteenth International Workshop on Distributed Artificial Intelligence*, pages 126–136, Lake Quinalt, WA, July 1994.

[12] T Finin and R. Fritzson. Specification of the kqml agent communication language plus example agent policies and architectures. Technical report, DARPA Knowledge Sharing Initiative External Interface Working Group, 1994.

[13] T. Finin and Y. Labrou. Semantics for an acl. In *Agents, Architecture and Languages*, number IV. Springer-Verlag, Berlin, 1998.

[14] T. Finin, Y. Labrou, and Y. Peng. Agent communication languages : The current landscape. *IEEE Intelligent Systems*, pages 45–52, March/April 1999.

[15] FIPA[Fondation for Intelligent Physical Agents]. http ://www.fipa.org.

[16] H. P. Grice. Meaning. *Philosophical review*, 1957.

[17] H.P Grice. Utterer's meaning and intentions. *Philosophical Review*, 1969.

[18] B. Grosz and S. Krau. Collaborative plans for complex group action. *Artificial Intelligence*, pages 269–357, 1996.

[19] Y. Labrou. *Semantics for an Agent Communication Language.* PhD thesis, Computer Science and Electrical Engineering Department, University of Maryland, Baltimore, 1996.

[20] S. C. Levinson. Activity type and language. *Linguistics*, 17 :365–399, 1979.

[21] S. C. Levinson. *Pragmatics*. Cambridge University Press : Cambridge, England, 1983.

[22] R. Reiter. Knowledge in action : Logical fondation for describing and implementing dynamical systems. Draft, CS departement Toronto University, 1996.

[23] H. Sachs and E Schegloff. *Studies in the organzation of conversational interaction*, chapter A simplest systematic for the organization of turn-taking in conversation, pages 7–55. Academic Press, New York, 1978.

[24] J. R. Searle. *Speech Acts : An Essay in the Philosophy of Language.* Cambridge University Press : Cambridge, England, 1969.

[25] J. R. Searle. *Expression and Meaning*. Cambridge University Press : Cambridge, England, 1979.

[26] J.R. Searle. *(On) Searle on Conversation*, chapter Conversation, pages 7–29. Benjamins Pub, Philadelphia, 1992.

[27] J.R. Searle and D. Vanderveken. *Foundations of Illocutionary Logic*. Cambridge University Press, NY, 1985.

[28] M. P. Singh. *Multiagent Systems : A Theoretical Framework for Intentions, Know-How, and Communications (LNAI Volume 799)*. Springer-Verlag : Heidelberg, Germany, 1994.

[29] D.R Traum. A reactive-deliberatie model of dialogue agency. In Wooldridge M.J. Jennings N.R. Müller, J.-P, editor, *Intelligent Agent III*, number 1193 in LNAI, pages 157–171. Springer Verlag, 1997.

[30] D. Vanderveken. *Meaning and Speech Acts : Principles of Language Use*. Cambridge University, 1990.

[31] D. Walton and E. Krabbe. *Commitment in dialogue*. Suny Press, 1995.

[32] T Winograd and F. Flores. *Understanding Computers and Cognition : A New Foundation for Design*. Ablex, Norwood, NJ, 1986.

[33] L. Wittgenstein. *Philosophical Investigations*. MacMillan, 1953.