

MODÈLES DES DIALOGUES ENTRE AGENTS UN ÉTAT DE L'ART

Philippe PASQUIER, Brahim CHAIB-DRAA

Laboratoire DAMAS (Dialogues, Apprentissage et systèmes MultiAgentS)
Département d'informatique et de génie logiciel
Université Laval, Pavillon Pouliot, Ste-Foy, PQ
G1K 7P4, Canada.
Méls : pasquier@iad.ift.ulaval.ca ; chaib@ift.ulaval.ca

Résumé

Cet article propose un état de l'art des modèles de dialogue entre agents artificiels cognitifs. Après avoir présenté les généralités sur le dialogue et indiqué les relations qu'entretiennent les modèles de dialogue pour agents artificiels avec les modèles issus de l'étude du langage naturel, deux grandes familles d'approches, discriminées selon leurs fondements théoriques très différents, sont détaillées. Tout d'abord, les approches intentionnelles, dans lesquelles le dialogue est censé émerger de l'enchaînement des actes de langage produits grâce au raisonnement des agents sur leurs intentions et croyances, ont donné naissance à de nombreux langages de communication entre agents dotés de sémantiques mentalistes. Cependant, ces approches ont été critiquées et des approches conventionnelles et sociales centrées sur les aspects normatifs de la structuration des dialogues et leurs sémantiques exprimées en termes d'engagements sociaux ont été proposées. L'article fait le point sur les avantages et les inconvénients théoriques et pratiques connus de ces deux grandes familles d'approches, tout en indiquant les perspectives futures à partir des manques actuels.

Abstract

MODELS OF DIALOGUE BETWEEN AGENTS: A SURVEY OF THE STATE OF THE ART

In this paper, we present a state of the art of agent dialog models according to their theoretical foundations. After sketching the main concepts surrounding dialog models in general and refining the relationship between natural language dialogs and artificial agents dialogs, we present the two main trends in agent dialog modelling: (1) intentional approaches in which dialog should emerge from the chaining of speech acts derived from agents' intentions through recognition of and reasoning about others' mental states and (2) conventional and social approaches in which the semantics of communication is expressed in terms of social commitments standing for responsibilities contracted by an agent toward others through conventionally regulated dialogs. Having detailed these two families, we demonstrate the pros and cons of each with respect to theoretical as well as practical issues, while indicating perspectives for future inquiry.

Resumen

MODELOS DE DIÁLOGO ENTRE AGENTES: ESTADO DEL ARTE

En este artículo, presentamos un estado del arte de los modelos de diálogo entre agentes artificiales cognitivos. Después de presentar las generalidades sobre el diálogo y de refinar las relaciones entre los diálogos en lenguaje natural y los entre agentes artificiales, presentamos las dos familias principales de enfoques para la modelización del diálogo: (1) los enfoques intencionales para los cuales el diálogo proviene de la concatenación de actos del habla derivados de las intenciones de los agentes a través del reconocimiento y del razonamiento sobre los estados mentales de los otros y (2) los enfoques convencionales y sociales para los cuales la semántica de la comunicación se expresa en términos de compromisos sociales en vez de responsabilidades contractadas por un agente hacia otros a través de diálogos regulados por convenciones. Después de detallar ambas familias, demostramos las ventajas y desventajas de cada una con respecto a asuntos teóricos tanto como prácticos, indicando perspectivas de investigaciones futuras.

Resumo

MODELOS DOS DIÁLOGOS ENTRE AGENTES: UM ESTADO-DA-ARTE.

Este artigo propõe um estado-da-arte dos modelos de diálogo entre agentes cognitivos artificiais. Depois de ter apresentado as generalidades sobre o diálogo e indicado as relações que os modelos de diálogo para agentes artificiais mantêm com os modelos oriundos do estudo da linguagem natural, duas grandes famílias de abordagem, discriminadas segundo fundamentos teóricos muito distintos, são detalhadas. Num primeiro momento, as abordagens intencionais, nas quais o diálogo parece emergir do desencadeamento dos atos de linguagem produzidos graças ao raciocínio dos agentes sobre suas intenções e crenças, provocaram o aparecimento de inúmeras linguagens de comunicação entre agentes, linguagens essas dotadas de semânticas mentalistas. Entretanto, essas abordagens foram criticadas e abordagens convencionais e sociais, centradas nos aspectos normativos das estruturas de ação dos diálogos e suas semânticas expressas em termos de engajamentos sociais foram propostas. O artigo faz o balanço das vantagens e inconvenientes teóricos e práticos conhecidos dessas grandes famílias de abordagens, indicando as perspectivas futuras a partir dos problemas atuais.

Riassunto

MODELLI DI DIALOGO TRA AGENTI: UNO STATO DELL'ARTE

In questo articolo, presentiamo uno stato dell'arte dei modelli di dialogo tra agenti in accordo con loro fondamenti teorici. Dopo avere abbozzato i principali concetti che circondano i modelli di dialogo in generale e raffinato il rapporto tra dialoghi in lingua naturale e dialoghi tra agenti artificiali, presentiamo le due tendenze principali nella modellistica del dialogo tra agenti: (1) gli approcci intenzionali in cui il dialogo dovrebbe emergere dal concatenamento degli atti comunicativi derivati dalle intenzioni degli agenti per mezzo di riconoscimento e di ragionamento sugli stati mentali degli altri e (2) i metodi convenzionali e sociali in cui la semantica della comunicazione è espressa in termini d'impegni sociali presi come responsabilità contratti da un agente verso gli altri per mezzo di dialoghi convenzionalmente regolati. Presentando i dettagli di due grandi famiglie, dimostriamo i pro e i contro di ciascun approccio riguardo ai problemi teorici così come quelli pratici, mentre indichiamo le prospettive per le future analisi.

1. Introduction

Comme l'a argumenté Craig (1993), le grand nombre de théories relatives à la communication reflète la diversité des idées sur le sujet. Dès lors, si on ne peut trouver une théorie unificatrice des théories de la communication, il faut composer avec la multiplicité des approches. Selon Littlejohn (1992), le but des recherches dans les domaines de la communication ne devrait plus être la recherche d'un hypothétique modèle standard qui rendrait le champ statique et « mort ».

À l'inverse, dans le champ des SMA (Systèmes Multi-Agents) à base d'agents cognitifs, le besoin d'un modèle de communication standard se fait sentir et les efforts se multiplient dans ce sens. Les technologies agents et multi-agents permettent de concevoir et de développer des applications complexes. La caractéristique fondamentale de celles-ci dans le paradigme actuel de l'informatique répartie est l'habileté des agents à communiquer entre eux de manière utile à leurs objectifs tant individuels que collectifs.

Cependant, faire le point sur l'étude des conversations entre agents tout en rendant compte de ses fondements est une tâche délicate. En effet, les recherches dans ce domaine empruntent (comme c'est l'habitude dans le domaine des SMA) des notions à de nombreux domaines des sciences cognitives. On trouvera pêle-mêle : philosophie du langage, philosophie de l'esprit (épistémologie), socio-linguistique, linguistique, psychologie sociale, sociologie, dialectique, IA (Intelligence Artificielle) et IAD (Intelligence Artificielle Distribuée). La stupéfiante diversité des approches ainsi que la complexité des cadres conceptuels développés, si elles rendent compte de l'importance et de l'envergure du domaine, rendent également toute tentative de synthèse du domaine hasardeuse et partielle.

Une première critique serait d'ailleurs de constater que malgré leur intérêt scientifique théorique fondamental indéniable, ces études se sont bien souvent éloignées de la réalité informatique. On ne présente généralement pas d'algorithme, on n'analyse pas les approches en termes de complexité computationnelle et on discute peu de l'implémentation des idées présentées. La frontière entre l'étude du dialogue pour ce qu'il est chez les humains et sa modélisation dans un cadre explicitement multi-agent est souvent confuse. Voyons pourquoi cette critique serait bien malvenue en rappelant pourquoi la communication humaine est la métaphore privilégiée des travaux sur les communications entre agents artificiels cognitifs.

1.1. Discussion : communication inter-humaine et inter-agents

Dans les systèmes multi-agents la communication est un point clé. Mais est-ce que, pour autant, les modèles de communication des agents doivent être basés sur ceux issus de la recherche sur le langage naturel et les communications entre humains ? Il y a évidemment plusieurs courants au sein des recherches concernant les SMA. Nous nous limiterons ici aux SMA cognitifs, basés sur le paradigme de représentation symbolique des connaissances et de formalisation du raisonnement issu du courant cognitiviste des sciences cognitives. L'interaction dans ce type de système requiert des techniques de communication plus sophistiquées que les solutions traditionnelles de communication entre modules logiciels : passage de données ou appel de procédures à distance. Dans un système multi-agents hétérogène et ouvert, il faut prendre en compte :

- *L'hétérogénéité des agents* : les messages doivent être mutuellement compréhensibles alors que les points de vue des agents ne sont pas forcément mutuellement cohérents.
- *L'échange de savoir* : un agent rationnel doit pouvoir manipuler des croyances sur les autres et en particulier sur leurs comportements, croyances et intentions. En effet, un tel agent doit être capable d'identifier et d'explicitier les conflits qui font obstacle à la résolution de ses problèmes. Pour ce faire, il doit pouvoir exprimer ces différents types de connaissances et non simplement transmettre de simples données.
- *Le contrôle local* : les agents doivent être autonomes. C'est-à-dire que leur comportement ne doit pas dépendre d'un planificateur central ni d'interactions pré-définies. L'agent doit être capable de développer sa propre stratégie de communication dynamiquement.
- *La structure organisationnelle* : pour éviter l'explosion combinatoire de la quantité de communications au sein du système, il est commun d'avoir recours à une structure organisationnelle qui distribue les rôles ainsi que les relations hiérarchiques et les comportements attendus qui leur sont associés.

Dès lors que les humains parviennent à intégrer ces dimensions, il n'est pas inutile de prendre exemple sur les modèles de la communication humaine pour élaborer ceux des SMAs. L'observation des conversations humaines est la base de l'élaboration de protocoles sophistiqués. Les humains ont développé des techniques d'interaction très perfectionnées qui s'accommodent de leur rationalité limitée. Puisque les agents artificiels sont eux-aussi limités dans leur rationalité, on peut s'en inspirer.

Il faut aussi garder à l'esprit que le langage naturel a le plus grand pouvoir d'expression ! Ceci n'est pas sans conséquence lorsque l'on souhaite l'interopérabilité des différentes architectures d'agents. Pouvoir garantir qu'un langage de communication agent, à l'instar du langage naturel, permet de tout dire et sous certaines conditions d'être compris de tous est un aspect majeur. Doter un cadre de communication inter-agent de ce type de pouvoir expressif supprime la tentation pour un développeur de spécialiser son système de communication, ce qui rendrait ses agents incompréhensibles pour ceux créés par d'autres développeurs. En outre, cela donne un cadre unificateur à des recherches souvent difficiles à comparer autrement. Notons, finalement, que les allers-retours que cela implique entre les modèles de communication inter-agent et les modèles de communication humaine participent du projet de l'IA cognitive et plus généralement des sciences cognitives.

Les chercheurs qui travaillent sur le dialogue et les conversations avec des outils informatiques poursuivent (indépendamment) les objectifs suivants :

- Élaboration de systèmes de dialogue homme-machine en langage naturel ;
- Conception de systèmes d'aide au dialogue, de médiatisation (collecticiel) ;
- Elaboration de la composante interactionnelle de systèmes multi-agents ;
- Modélisation linguistique, cognitive, physiologique ou neuro-biologique avec simulation et validation informatique.

Cette simple liste permet de bien comprendre que ces chercheurs ont un certain nombre d'ambitions qui, si elles ne sont pas toujours incompatibles, sont bel et bien différentes. Certaines recherches visent l'universalité des résultats et souhaitent embrasser le genre humain, d'autres étudient des types de dialogues particuliers (dialogue orienté tâche, supervisé, argumentation,...) ou des types de systèmes particuliers (SMA, IHM (Interfaces Homme-Machines), simulations de systèmes sociaux ou biologiques,...). De ce champ d'une grande diversité, nous tenterons donc d'extraire les éléments pertinents pour les communications dialogiques entre agents. Pour cela, il convient de préciser le type d'agents dit « cognitif » dont il est question dans les SMAs.

1.2. Hypothèses : caractéristiques des agents cognitifs

Au fur et à mesure que le domaine des SMAs se développe, les agents se complexifient. Ainsi, on prête aux agents intelligents actuels un certain nombre de caractéristiques. Voyons ici les hypothèses qui sont faites concernant les agents cognitifs, capables d'utiliser des « formes » dialogiques :

- Représentation explicite des connaissances ;
- Structuration des états mentaux ;
- Maintien d'un modèle des autres aussi complet que possible ;
- Capacités sociales : gestion des engagements (cela suppose le raisonnement temporel), capacités de communication (manipulation d'un cadre interactionnel) ;
- Capacités cognitives : mémorisation, raisonnement, apprentissage (ou au moins actualisation des connaissances : mise à jour et révision des connaissances), planification garantissant la proactivité et l'autonomie.

Tous ces éléments sont assemblés en une théorie comportementale qui 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). Les théories comportementales de ce type doivent fournir pour un agent des éléments concernant par exemple : sa stratégie de raisonnement, son modèle 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, etc.¹

Finalement, la façon de communiquer d'un agent doit être compatible avec son fonctionnement interne. On peut même dire que la capacité de communication d'un agent fait partie intégrante de son modèle cognitif et comportemental. Pour un agent donné, une conversation est un processus dynamique qui met en jeu l'essentiel de ses ressources cognitives.

¹ De telles théories peuvent être composées, par exemple :

- d'éléments sur le savoir et l'action (Moore, 1990);
- d'une architecture BDI (*Belief, Desire and Intention*) (Rao et Georgeff, 1995);
- de savoir-faire et gestion du temps (Singh, 1994);
- d'une théorie de l'intention (Cohen et Levesque, 1990a);
- d'éléments de théories économiques, théorie des jeux (Werner, 1992).

Cette description, même succincte, des agents cognitifs actuels, met en évidence leur anthropomorphisme. À ce niveau d'abstraction, les concepts utilisés sont issus des sciences cognitives dans leur pluralité et n'ont de rapport avec l'informatique que par leur formulation formelle. Ceci vient conforter notre analyse sur les liens entre communication humaine et artificielle de la section précédente.

Cependant, il convient de tempérer cette position, car si les modèles de conversation pour agents artificiels sont des contributions aux modèles de conversations dans leur généralité, ils ne couvrent pas l'étendue souhaitée pour les modèles de dialogues entre humains. En particulier, les étapes d'énonciation (mise en forme du message formel) et de formalisation (formalisation du message naturel) des messages et les aspects ayant trait à la multimodalité (intégration multimodale et répartition multimodale) ne sont généralement pas traités dans les travaux sur les communications entre agents artificiels². En définitive, la nature formelle des agents artificiels permet d'éviter d'avoir à traiter toutes les ambiguïtés associées au langage naturel. Ainsi, dans un cadre multi-agents, une grande partie de la complexité (et par là même de la richesse) des communications humaines disparaît.

À l'inverse, certaines exigences, liées à leur finalité informatique, contraignent les modèles de communication entre agents artificiels à ne pas être que de simples cadres d'analyse (comme il est commun d'en trouver en linguistique, en dialectique, ...) mais à fournir des outils et langages formels, réifiants en structures de données et procédures effectives (au sens de l'informatique théorique).

Malgré cela, vouloir rendre compte des modèles de la communication agent par leurs fondements nous amènera à considérer des modèles de la communication dialogique plus généraux. Ce type de réflexion intégrant différents domaines des sciences cognitives nous semble seul permettre une vision globale et une réflexion féconde.

Ainsi, la prochaine section introduit quelques généralités sur la modélisation des énoncés linguistiques et la formalisation des langages de communication agent subséquente, tandis que les sections suivantes motivent et présentent les modèles de dialogue entre agents actuels.

2. Des actes de langage aux langages de communication agent (ACLs)

2.1. Théories des actes de langage : « Quand dire c'est faire. »

Historiquement, les unités conversationnelles ont été étudiées avant le cadre conversationnel dans lequel elles doivent prendre place. La *théorie des actes de langage* (et ses nombreuses variantes) est en ce domaine la référence incontournable. La théorie des actes de langage (Wittgenstein, 1953 ; Grice, 1957 ; Austin, 1962, Searle, 1969, Vandervecken, 1990) 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

² Ils le sont par contre dans les systèmes concernant la communication homme-machine comme pour les agents interfaces ou les agents amenés à évoluer au sein de communautés mixtes (voir à ce propos : Chicoisne, 2002 ; Lemeunier, 2000 ; Lemeunier, 2003).

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 : « dire c'est faire ». 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*³ : l'interlocuteur (ou les interlocuteurs, le cas échéant) a perçu l'énonciation. Il lui faut interpréter le sens de l'énoncé en termes de son 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). L'effet perlocutoire 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 » (Bach et Harnish, 1979) et d'autres plus « analytiques » (Searle, 1979).

2.1.1. 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) consistent en l'application d'une force illocutoire F sur un contenu propositionnel p, ce que l'on notera F(p) dans le reste de ce texte⁴. 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 (respectivement

³ Certains auteurs, plus fidèles à la formulation d'Austin (1962) préfèrent présenter l'énonciation comme partie intégrante de l'acte locutoire qui est alors décomposé en actes phonétique (production de sons), phatique (production de mots appartenant à un vocabulaire et organisés conformément à une certaine grammaire) et rhétique (production de l'acte phatique ayant un sens particulier pouvant faire intervenir des références).

⁴ Cette distinction introduite par Austin est justifiée par Searle qui observe que les deux dimensions F et p peuvent être niées indépendamment. Par exemple, la phrase « Je promets de venir » peut être niée de deux manières : « Je promets de ne pas venir » ou « Je ne promets pas de venir » selon que c'est le contenu propositionnel ou la force illocutoire qui est niée.

une force illocutoire d'ordre et une force illocutoire d'assertion pour le futur). D'après Searle et Vanderveken (1985), 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 possibles du langage qui sont caractérisées par 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. *Commissif / promissif / engageant* : le locuteur s'engage (vis-à-vis du destinataire) à accomplir l'action représentée par le contenu propositionnel. Exemples d'actes illocutoires promissifs : promesse, menace, renonciation, acceptation, vœu, serment,...
4. *Expressif* : le contenu propositionnel concerne l'humeur mentale et l'affect du locuteur. Exemples d'actes illocutoires expressifs : déclaration d'amour, félicitation, 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, legs, 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 choses 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 à satisfaire son contenu propositionnel. Les actes de langage ayant un but illocutoire directif ou commissif 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 indépendants. 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.

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 commissif 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 l'accomplissement 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 « extériorisation », 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 et 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 états mentaux qu'il exprime) des insincères. 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 commissifs 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.

2.1.2. 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 $F(\dots F(p)\dots)$ et il n'y a pas de limitations à ce type d'imbrication. En outre, certains actes illocutoires utilisant des connecteurs comme « et » ou « mais » ne sont pas de la forme $F(p)$. Il s'agit d'actes illocutoires dits complexes qui sont généralement de la forme $F_1(p_1) \wedge F_2(p_2)$. Par exemple, S_0 est à la fois une assertion et une question.

S_0 : *Il est six heures, non ?*

Un certain nombre de connecteurs illocutoires ont été proposés par Searle et Vanderveken (1985) dans le cadre de leur logique illocutoire.

2.1.3. Actes de langage indirects

Au niveau linguistique, la théorie des actes de langage classique prévoit qu'il est possible de déterminer la force illocutoire 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 et dans de nombreux cas, l'acte locutoire ne suffit pas à déterminer l'acte illocutoire correspondant. Seule l'utilisation « d'expressions performatives explicites » de la forme « je te <verbe performatif> que... » donne le type de l'acte réalisé sans ambiguïté, encore que l'on puisse 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 langage indirects. Par exemple, l'énoncé S_1 suivant s'interprète généralement 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 quant à l'étude de ce type d'actes, et ce, même si les travaux de Grice (1969) sur la notion d'implicature (section 4.1.3) fournissent des indications sur le type d'indirection réalisée pour passer de la question littérale à la requête indirecte.

2.1.4. 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 le locuteur doit être prêt à s'engager à accomplir les actions représentées par le contenu propositionnel dans le futur.

2.1.5. Les conditions de satisfaction des actes illocutoires

La plupart des actes de langage 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 (c'est-à-dire que chacune de ses trois composantes soit satisfaite). 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 propositionnel⁵.

2.2. Les langages de communication agent (ACLs)

Dans les SMA's cognitifs, 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 (Dignum, 2000). 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 tous 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 (Finin *et al.*, 1999), on utilise alors au minimum :

- *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 transmises entre les agents.

Les langages de communication agent, notés ACL (*Agent Communication Language*) dans le reste du texte, 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'information⁶ non seulement par leur structure et leur

⁵ Dans la théorie des actes de langage, la notion de satisfaction est une généralisation de la notion de vérité.

⁶ La théorie de l'information, développée par Shannon (Shannon et Weaver, 1975), sert de base théorique à la communication dans les réseaux informatiques.

syntaxe plus complexe, mais aussi par leurs spécifications génériques et précises. Leur puissance expressive, héritée de la théorie des actes de langage permet d'envisager développer des SMA théoriquement hétérogènes et ouverts, c'est-à-dire dont les agents (cognitifs), hétérogènes en architectures internes et issus de développeurs différents, peuvent se communiquer des messages mutuellement compréhensibles. Les deux ACLs les plus connus sont KQML et FIPA-ACL. Voyons en quoi ils consistent.

2.2.1. KQML

Premier apparu, KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*) fournit un ensemble d'actes de langage standards et utiles. Le langage est structuré selon trois niveaux enchâssés (Finin *et al.*, 1999) :

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 etc.).
2. *La couche message* : donne des indications sur le contenu du message (langage et ontologie utilisés pour le contenu, type d'acte de langage attaché au contenu). C'est 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.

Les primitives de KQML sont appelées « performatifs » même si elles ne sont pas des actes performatifs au sens linguistique du terme. Cette appellation qui prête à confusion a d'ailleurs été critiquée. Les performatifs KQML sont divisés en trois catégories :

1. 7 performatifs de régulation de conversation traitent quelques cas particuliers (*sorry, error*) et permettent quelques variantes de la conversation (*standby, ready, next, rest, discard*) ;
2. 17 performatifs de discours permettent l'échange d'informations et de connaissances (*ask-if, tell, deny, stream-all,...*) ;
3. 11 performatifs 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, 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 généralité de ses primitives lui permettent d'être utilisé comme ACL. C'est l'ACL le plus utilisé (et implémenté) dans la communauté SMA. Le développement de KQML n'est pas centralisé et ainsi plusieurs variantes incompatibles sont nées.

2.2.2. FIPA-ACL

C'est le seul effort réellement organisé pour créer un ACL standard. Comme FIPA-ACL est défini par une corporation de chercheurs, sa mise à jour est lente mais chaque version est scrupuleusement vérifiée. Il a été conçu pour pallier les faiblesses

des différentes versions de KQML. FIPA-ACL⁷ diffère de KQML car il a été doté d'une sémantique. En effet, si KQML décrit la syntaxe de ses messages, rien n'est dit sur leur sens précis (indépendamment du fait qu'ils correspondent grossièrement à différents types d'actes de langage), c'est-à-dire de leur sémantique.

Nous détaillerons les sémantiques des ACLs en section 4.3, car elles participent des approches intentionnelles des dialogues agents traitées en section 4. Les modèles de dialogues sont en effet rendus nécessaires par le fait que chaque acte de langage est à interpréter *via* son contexte et plus particulièrement en rapport aux autres actes de langage qui l'entourent temporellement. L'acte de langage prend son sens comme élément d'un contexte et plus spécifiquement d'une conversation, d'un dialogue.

3. Généralités sur le dialogue

3.1. Définition

Dans les sociétés humaines, un acte de langage est rarement utilisé seul. Dans la communication utilisant le langage naturel, un système de signes parmi d'autres, on distingue le discours (un locuteur), du dialogue et de la conversation (au moins deux intervenants)⁸. 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 sourds 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 oral⁹) 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 (Clark et Wilkes-Gibbs, 1986).
- *La capacité à détecter les ambiguïtés et les incohérences dans le discours d'autrui*.
- *La production et la recherche de retours (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

⁷ L'ACL de FIPA s'appelle en fait ACL, mais pour éviter toute confusion nous le nommerons FIPA-ACL dans le reste du texte.

⁸ Si l'on souhaite préciser le nombre d'intervenants, on peut recourir à des termes plus précis : dialogue, trilogue, ...

⁹ Éventuellement porté par écrit, comme les pièces de théâtre ou les exemples de ce texte.

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 celles des autres. Cette propriété a une implication majeure : la non-prédictibilité globale de la structure du dialogue. En effet, contrairement aux phrases ou même aux discours, les conversations ne sont généralement pas l'expression de structures régulières, mais plutôt de 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 structurés que des conversations libres entre amis. On dira que ces conversations contraintes, qui ont lieu au sein d'une activité précise, en lien avec une tâche particulière ou menée dans l'attente de certains résultats sont *orientées structure* et les conversations libres *orientées processus*. Le tableau 1 récapitule les différences entre ces deux types de conversation en reprenant les caractéristiques majeures du dialogue contraint et du dialogue libre indiquées par Searle (1992b).

Tableau 1 — *Dialogue orienté structure vs. orienté processus selon Chaib-draa et Vongkasem (2000).*

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

3.2. La conversation comme activité commune

Il existe de nombreux travaux sur la sémantique des actes de langage (pour une synthèse, voir Pasquier (2001) ou Labrou (1996)), mais peu d'études formelles traitent de la sémantique des dialogues. On pourrait penser que la sémantique d'une conversation est obtenue par composition des sémantiques des actes de langage qui la composent. Il n'en est rien. Illustrons cela à l'aide d'un exemple. Le graphe de

conversation pour l'action de Winograd et Flores (1986) montre qu'une simple demande d'action est un processus complexe composé de plusieurs actes de langage impliquant le demandeur, mais aussi l'agent à qui la demande est faite (la figure 1 présente ce protocole). Une telle demande est une action commune complexe et la sémantique des actes de langage qui composent le graphe ne saurait rendre compte de la sémantique de la conversation dans sa généralité (en particulier sa structure).

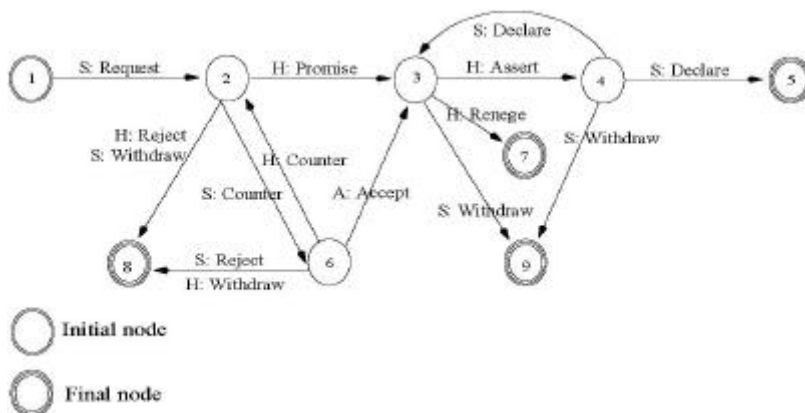


Figure 1 — Graphe d'une requête pour l'action par Winograd et Flores (1986).

Cet exemple, parmi 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 (1990b) ont proposé leur point de vue avec les buts persistants et les croyances mutuelles. Grosz et Kraus (1996) ont proposé les plans partagés, Singh (1994) l'engagement social et Traum (1997) étudie les croyances mutuelles.

Chaib-draa et Vongkasem (2000) 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. Pour Clark (1996), une activité commune est une activité qui implique au moins deux participants, chacun jouant un rôle au sein de cette activité. Les participants cherchent à accomplir certains buts collectifs (outre leurs éventuels buts individuels/privés). Les participants peuvent utiliser des procédures spécifiques pour atteindre leurs buts, mais doivent s'accorder sur le début et la fin de l'activité. L'exécution des procédures constitutives de l'activité peut être simultanée ou séquencée. Cette activité commune est un ensemble d'actions dont la plupart sont des *actions communes*. Une action commune est plus que la somme des actions individuelles des participants. La coordination, notamment, est en plus. Cela soulève le problème de la coordination d'une activité commune. Clark (1996) distingue quatre niveaux dans la communication langagière. Chacun de ces niveaux 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 comprend) : 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 de l'activité* (le locuteur propose / l'interlocuteur considère) : les participants doivent avoir identifié le projet, vouloir le réaliser, chacun doit être capable d'accomplir sa part de l'activité commune 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.

Comme exemple d'activité commune, citons le duo en musique et, plus proche de l'activité linguistique, les dialogues de recherche d'information comme les paires question-réponse. Idéalement, tous les types de dialogues possèdent les caractéristiques d'une activité commune.

3.3. Typologie des dialogues

Une typologie exhaustive des dialogues est illusoire puisqu'il existe une infinité de types de dialogues (Wittgenstein, 1953). Mais, en se restreignant aux dialogues à but discursif, Vanderveken (1999) propose une classification basée sur les directions d'ajustement :

1. *Descriptif* : les interlocuteurs dialoguent pour décrire l'état du monde ou se mettre d'accord sur cette description. C'est le cas des dialogues de persuasions, des investigations, des recherches d'informations, des enquêtes, des examens,...
2. *Délibératif* : les interlocuteurs dialoguent pour s'engager ou engager les autres à réaliser certaines actions. C'est le cas des dialogues de négociation ou de délibération,...
3. *Déclaratif* : les interlocuteurs dialoguent dans le but de réaliser une déclaration commune. C'est le cas pour les dialogues tenus par des assemblées ou par un jury,...
4. *Expressif* : les interlocuteurs dialoguent pour exprimer leurs attitudes. C'est le cas des hommages, des bravos, des félicitations,...

Dans le même esprit que pour la théorie des actes de langage, ces quatre types de dialogue sont raffinables selon leurs composantes : mode d'atteinte du but discursif, conditions thématiques, conditions d'arrière-plan, conditions de sincérité.

Une autre classification, issue des travaux en dialectique est celle proposée par Walton et Krabbe (1995). Ils définissent cinq types de dialogues principaux qui sont

caractérisés par le but global et commun du dialogue et les buts privés de chacun des interlocuteurs :

1. *Persuasion* : le but global est de résoudre un conflit, le but privé de chacun des intervenants est de convaincre son ou ses interlocuteur(s) ;
2. *Négociation* : le but global est de résoudre un conflit en atteignant un accord, chacun des agents ayant pour but privé de maximiser sa satisfaction ;
3. *Investigation (ou enquête)* : le but global est d'établir la véracité d'un fait, les buts individuels sont de participer à ce processus ;
4. *Délibération* : le but global est de s'entendre sur un plan, chacun travaillant à l'influencer à son avantage ;
5. *Recherche d'informations* : le but global est de trouver de l'information. C'est le seul type de dialogue qui ne soit pas symétrique, seul un des agents a pour but privé d'obtenir de l'information.

On note que certains types de dialogues mentionnés par Vanderveken sont absents de la classification de Walton et Krabbe (pas d'expressif). Walton et Krabbe ont aussi systématisé les conditions initiales de ces différents types de dialogues comme indiqué par la figure 2.

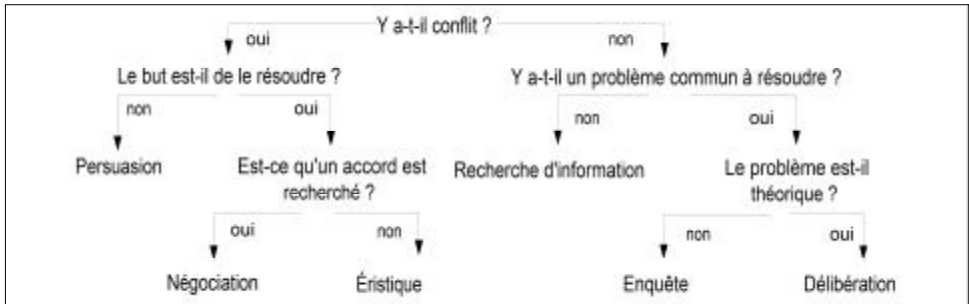


Figure 2 — Situation initiale et type de dialogue d'après Walton et Krabbe (1995).

Ces classifications ne signifient pas que les dialogues soient d'un seul et même type tout au long de leur déroulement. Les dialogues observables dans la réalité seraient plutôt des compositions parfois complexes de ces types de base. On parle alors de *dialogues de types complexes*.

En outre, le choix du type de dialogue dépend du contexte. Bunt (1996) distingue les aspects statiques des aspects dynamiques du contexte. Pour les aspects statiques, il identifie :

- *Le contexte physique et perceptuel.*
- *Co-présence* : c'est la situation de dialogue élémentaire (parce que la plus commune), le « face à face », dialogue oral, à un endroit donné et à un moment précis.
- *Non co-présence* : le dialogue est médiatisé (téléphone, courriel, courrier) par l'oral ou l'écrit.

- *Le contexte social* : les rôles sociaux des interlocuteurs sont porteurs de droits et d'interdictions liés à l'activité dialogique (par exemple : prof-élève, policier-témoin, patient-médecin, directeur-employé, client-vendeur,...). Généralement, l'interlocuteur qui a l'initiative est celui qui guide la discussion. Dans le cas général, on parle de dialogues d'initiatives mixtes.
- *Le contexte cognitif* : ce contexte contient les différentes attitudes mentales des interlocuteurs. Il est donc essentiellement dynamique. Les aspects statiques qui peuvent être isolés en début de dialogue sont : l'identité des interlocuteurs, les capacités qu'on leur prête (on attribue certaines capacités, différentes, à un enfant ou à une machine,...) et le but principal de la conversation qui explique l'entrée en dialogue.

Notons que tous les travaux présentés dans ce document ne considèrent que les dialogues oraux médiatisés (cas de non co-présence), en laissant de côté la prosodie, les gestes, les mimiques et autres postures propres aux humains. Cette restriction est une conséquence des simplifications décrites en section 1.2 et tient à la nature des agents artificiels.

3.5. De l'énoncé au dialogue

Pour ce qui est de la représentation des énoncés, c'est la théorie des actes de langage (section 2.1) qui est communément admise et utilisée en IA et en IAD. Les langages de communications agents (section 2.2) n'en sont que ses instanciations dans le cadre des systèmes multi-agents.

3.5.3. Critique des actes de langage

Historiquement, les unités conversationnelles ont été étudiées avant le cadre conversationnel dans lequel elles doivent prendre place. Lorsqu'il a fallu les utiliser pour les conversations, de nombreux problèmes sont apparus. Les problèmes de la théorie des actes de langage apparaissent lorsque l'on considère certaines caractéristiques du dialogue :

- *Le caractère non monologique du dialogue* : l'interlocuteur est plus qu'un simple auditeur ;
- *Le caractère multidimensionnel du dialogue* : en plus d'être utilisé pour effectuer une tâche, le dialogue est également utilisé pour se contrôler lui-même.

Ainsi, de nombreux auteurs ont reproché aux actes de langage leur caractère monologique. Pourtant, il y a chez Austin (1962) la notion d'*uptake*.

Exemple :

A : Vous allez à Berlin ?

B_c : Oui

B_α : Oui, montez !

B_{αα} : Vous pouvez monter.

A formule un acte de langage typiquement indirect (question fermée ou requête) et c'est la réponse (l'*uptake*) de B qui détermine le sens (la force illocutoire, notamment) de l'acte de A. Malheureusement, cette notion d'*uptake* n'a pas été formalisée dans la théorie des actes de langage.

La première idée face à ces manques de la théorie des actes de langage fut d'adapter celle-ci au dialogue. Trois types de solutions pour prendre en compte les spécificités du dialogue dans la théorie des actes de langage ont été proposées : (1) dialogisation des actes de langage, (2) actes de dialogue et (3) actes multi-niveaux.

3.5.4. Dialogisation des actes de langage

Plusieurs extensions de la théorie des actes de langage ont été proposées en vue d'utiliser les actes de langage dans un cadre dialogique.

Trognon et Brassac (Trognon et Brassac, 1992 ; Brassac, 1994) dialogisent la logique illocutoire et en font une logique inter-locutoire qui prend en compte la notion d'*uptake* et revient à considérer que la réponse de B (en reprenant l'exemple de la section précédente) « est une offre d'interprétation adressée à A qui l'examine pour voir si elle est une interprétation acceptable ». Leur principe de l'enchaînement conversationnel se décompose en trois moments : (1) A produit un énoncé, (2) B produit un énoncé qui (entre autres) propose une interprétation de celui de A et (3) A valide, invalide ou module l'interprétation de B (tout en proposant une interprétation de l'énoncé de B, chaque énoncé étant susceptible d'être une composition de (1), (2) et (3)). C'est ainsi que, pour ces auteurs, se résout le problème de l'interprétation, c'est-à-dire de l'inaccessibilité des intentions des communicateurs.

D'autres extensions de la théorie des actes de langage visent à introduire la notion d'effet perlocutoire attendu. Très tôt, Allwood (1976) distingue la fonction expressive (qui donne des informations sur le locuteur et le contexte) de la fonction évocatrice (qui indique les changements escomptés sur l'interlocuteur ou sur l'environnement) des actes communicatifs. Le tableau 2 indique ces deux fonctions pour différents types d'actes communicatifs. Sadek (1991a) a ensuite introduit la notion d'effet rationnel pour rendre compte de cette notion d'effet perlocutoire attendu.

Tableau 2 — Fonctions de quelques actes communicatifs selon Allwood (1994).

Type d'acte communicatif	Fonction expressive	Fonction évocatrice
Assertifs	Croyance (jugement)	Croyance partagée
Question	Désir d'information	Information désirée
Requête	Désir que X	X

3.5.5. Actes de dialogue

Bunt (1996) a proposé une théorie des actes de dialogue. Selon Bunt et les partisans de l'approche contextuelle, on distingue les actes qui vont de l'avant (nommés « *forward-looking* » et qui sont plutôt initiatifs) des actes qui suivent (traduit de « *backward-looking* » et qui sont plutôt réactifs). De la même manière, sont distingués les actes qui font progresser vers l'accomplissement de la tâche sous-jacente (TO-acts, pour *task-oriented acts*) des actes de contrôle du dialogue (DC-acts, pour *dialogue control acts*). Ces derniers sont de trois types : les retours (*feedbacks*), les obligations sociales et la gestion de l'interaction (tour de parole, structuration du dialogue, contact entre les interlocuteurs). Le problème est que l'étude des signaux de retour (*feedback*) montre qu'ils sont généralement ambigus, essentiellement à cause des différents niveaux de l'interaction. L'approche par les

actes multi-niveaux, présentée dans la sous-section suivante, est une tentative de réduire ces ambiguïtés.

3.5.6. Les actes multi-niveaux

Traum et Hinkelman (1992) ont proposé (et utilisé) les actes de conversation multi-niveaux. On y retrouve des actes de langage noyaux qui sont les actes de langage classiques, mais qui ne prennent leur plein effet qu'après établissement (présentation et acceptation). Ils sont considérés comme des actions communes qui sont ajoutées au fond commun plutôt que comme de simples actions du locuteur. Cette théorie des actes conversationnels suppose en outre trois autres types d'actes de langage : les actes de tour de parole, les actes d'établissement et les actes d'argumentation, plus complexes, car ils mettent en jeu plus d'un acte noyau. Les actes conversationnels sont récapitulés dans le tableau 3. Ils sont répartis à différents niveaux du discours : sous-énonciation, énonciation, unité de discours et discours. Cette approche des actes multi-niveaux réifie donc certaines des idées de Clark concernant les niveaux de la communication (section 3.2). Cependant, le cadre formel de Traum et Poesio (1997), issu des travaux sur le projet TRAINS de l'université de Rochester, qui entend unifier la théorie des actes de langage et la DRT (*Discours Representation Theory*) est spécifiquement orienté vers le traitement du langage naturel et son étude nous ferait sortir du cadre spécifique des dialogues entre agents artificiels.

Tableau 3 — Actes conversationnels multi-niveaux (Traum et Poesio, 1997).

Niveau de discours	Type d'actes	Exemple
Sous-énonciation	tour de parole	prendre-tour, garder-tour, donner-tour, assigner-tour
Énonciation	établissement	initier, continuer, valider, réparer, demande-réparer, demande-valider, accepter, rejeter
Unité de discours (DU)	actes-noyau	informer, demander, s'engager
Multiple DUs	argumentation	élaborer, résumer, clarifier, question-réponse, convaincre, trouver un plan

3.6. Conclusion

En conclusion de ces généralités et en gardant à l'esprit les réflexions de l'introduction, nous pouvons poser quelques objectifs communs aux modèles de dialogues que nous allons considérer dans la suite de cet état de l'art. En effet, nous savons maintenant que les modèles considérés doivent fournir les outils par lesquels des agents artificiels vont dialoguer. Cette interaction ne peut pas, dans le cas général, être réduite à un simple message (*one-shot communication*) mais doit bien être constituée de séquences cohérentes de messages sur un même sujet ou au service d'une tâche ou d'un but commun.

En outre, en se basant sur les apports de la théorie des actes de langage, ces envois de messages ne sont pas vus comme une simple transmission d'information, mais comme des actions agissant sur le monde (c'est-à-dire les états mentaux des interlocuteurs, leurs attitudes sociales, le contexte ou l'état du dialogue, selon les modèles).

Les propositions de modèles de structuration des dialogues faites jusqu'alors peuvent être regroupées en deux familles :

- *Les approches intentionnelles* (section 4) : les enchaînements d'énoncés résultant des intentions des interlocuteurs supposés coopératifs ;
- *Les approches conventionnelles et sociales* (section 5) : qui mettent l'accent sur les contraintes structurelles liées aux dialogues, que les interlocuteurs sont socialement poussés à observer et qui s'articulent autour de primitives sociales.

Les sections suivantes détaillent chacune de ces familles d'approches.

4. Approches intentionnelles

4.1. Fondements philosophiques

4.1.1. L'intention individuelle

L'intention individuelle¹⁰ est une notion très étudiée en philosophie de l'esprit. Les travaux les plus influents en IA sont ceux de Searle (1983) et Bratman (1987). On distingue classiquement : l'intention dirigée vers le futur (avoir l'intention de faire quelque chose) et action intentionnelle (faire quelque chose intentionnellement). Ces deux notions sont liées puisque l'intention dirigée vers le futur mène généralement à la réalisation d'actions intentionnelles. L'intention qui nous intéresse ici est l'intention dirigée vers le futur.

Il faut se garder de confondre désir et intention. Les désirs représentent des états souhaités du monde, ils peuvent être irréalisables ou bien contradictoires. Le processus qui sélectionne, sur la base des croyances, les désirs qui pourront être poursuivis est *la délibération*. La délibération concerne la production des intentions ou buts (les liens entre les notions de but et d'intention soulèvent de nombreux débats) et a été beaucoup étudiée en IA. Les travaux de références à ce niveau sont ceux de Rao et Georgeff (1991) qui ont fourni le cadre intentionnel classique nommé BDI (*Belief, Desire, Intention*) et le modèle de Cohen et Levesque (1990a).

Dans la délibération de sens commun (également appelée raisonnement pratique), les buts peuvent être interprétés comme des désirs « choisis » suite à une délibération. En outre, les buts doivent être consistants. Finalement, les intentions peuvent être comprises comme des engagements individuels sur des buts, pour lesquels des ressources sont allouées.

Une des caractéristiques principales de l'intention individuelle est donc qu'elle implique un type spécial d'engagement à l'action (Bratman, 1990 ; von Wright, 1980). C'est-à-dire que tant que l'agent a l'intention d'atteindre un certain état, il est engagé individuellement à réaliser les actions qu'il pense appropriées pour atteindre cet état. Classiquement, on distingue deux types d'intention, *l'intention de* et *l'intention que*, selon que l'argument est une (ou plusieurs) action ou une proposition (Bell, 1995 ; Grosz et Kraus, 1996). *L'intention que* s'applique à une proposition (éventuellement

¹⁰ Par le qualificatif « individuelle », on souhaite exclure de notre champ d'investigation les travaux sur les intentions partagées et les intentions collectives. On pense à la notion de *We-intention* telle que développée par Searle (1990) ou par Tuomela (Tuomela et Miller, 1988).

complexe) tandis que l'*intention de* est une intention de réaliser une action ou l'intention qu'une action soit réalisée (éventuellement par un autre agent ou un groupe d'agents).

4.1.2. Signification non-naturelle

En linguistique, la notion de signification a longtemps été considérée comme le seul fait des énoncés. Dans la tradition « codique » de la communication, le locuteur « code » un sens dans un énoncé qu'il transmet à un auditeur qui le « décode ». Or, l'énoncé ne représente pas la totalité de la signification. La thèse de Grice (1957), père de la vision inférentielle de la communication, est qu'il existe un rapport entre le vouloir dire du locuteur et ses intentions. C'est ce qu'il appelle la signification non-naturelle en opposition à la relation naturelle qui existe entre signe et signification. La formulation de Levinson (1983) est la suivante. Le locuteur A a voulu dire *z* en exprimant *e*, si et seulement si :

1. A a l'intention que *e* provoque l'effet *z* chez B ;
2. A a l'intention que l'intention dont il est question en 1 soit réalisée par B en reconnaissant celle-ci (cette seconde intention est aussi appelée *intention communicative*).

L'intention est donc placée doublement au cœur du processus communicatif. On considère, d'une part, l'intention qu'a le locuteur en produisant l'énoncé et d'autre part, la reconnaissance de cette intention par l'auditeur. Lorsque, par exemple, je demande si *p*, (1) j'ai l'intention de savoir si *p* et (2) je souhaite que ceci soit réalisé par la reconnaissance de cette intention. Dans la littérature, les situations dans lesquelles l'intention (le but) du locuteur n'a pas pour vocation d'être reconnue sont appelées « non manifestes » (*covert*). C'est le cas, par exemple, lorsque le locuteur essaie d'impressionner l'interlocuteur.

4.1.3. Coopération

Grice (1975) a le premier défini la notion de coopération dans le cadre du dialogue. Des interlocuteurs rationnels et coopératifs, désireux de maximiser l'échange d'information lors d'un dialogue devront se conformer au *principe de coopération* :

*Que votre contribution conversationnelle corresponde à ce qui est exigé de vous, au stade atteint par celle-ci, par le but ou la direction acceptée de l'échange dans lequel vous êtes engagé*¹¹.

Ce principe peut se décliner sous la forme de quatre maximes de coopération :

- *Maxime de qualité* : ne pas dire ce que vous croyez faux ou ce pourquoi vous manquez de preuve ;
- *Maxime de quantité* : faites que votre contribution soit aussi informative que le but de l'échange le requiert, mais pas plus ;
- *Maxime de pertinence* : soyez pertinent ;
- *Maxime de manière* : soyez bref et ordonné, évitez les ambiguïtés.

¹¹ Traduction libre de (Grice, 1975).

Ces maximes paraissent simplistes, mais elles ne doivent pas être comprises comme strictement normatives. En effet, c'est en se basant sur le fait qu'elles sont régulièrement transgressées que peut être amorcé un processus inférentiel (appelé implicature) qui va permettre de retrouver le véritable sens des énoncés. Lorsqu'une (ou plusieurs) maxime est violée, les interlocuteurs réagissent coopérativement (le principe de coopération s'applique toujours) et essaient de comprendre/interpréter la violation : ce sont *les implicatures*. Les interlocuteurs cherchent à savoir ce qui est impliqué par cette violation apparente et manifeste.

Lorsque, par exemple, on dit : « Il pleut des cordes. », on viole la maxime de qualité, mais les autres comprennent bien que l'on parle métaphoriquement. C'est un exemple d'implicature conversationnelle. Les actes indirects sont un autre type d'implicature. Si on me demande : « Combien ça t'a coûté ? », et que je réponds : « Assez cher. », un interlocuteur comprendra, en supposant que je reste coopératif, que ce viol de la maxime de quantité est à interpréter comme signifiant : « Ce ne sont pas tes oignons ». Souvent, les violations sont indiquées, anticipées explicitement. Par exemple, on dit : « J'exagère peut-être un peu, mais... » pour prévenir d'un viol de la maxime de quantité, ou encore : « Tu vois ce que je veux dire... » pour signifier que l'on a violé la maxime de manière.

Lorsque le locuteur ne suit pas le principe de coopération, mais qu'il fait en sorte que les autres croient qu'il le suit, les violations peuvent servir à tromper les autres. Pour mentir, on viole discrètement la maxime de qualité, pour obscurcir ou embrouiller, on viole la maxime de quantité et pour distraire, on viole la maxime de pertinence.

Une des approches néo-gricéenne célèbre est la théorie de la pertinence de Sperber et Wilson (1986) qui ne conserve que la maxime de pertinence pour en faire un principe : *le principe de présomption optimale de pertinence*. Dans leur théorie, la pertinence d'un énoncé est évaluée en fonction du rapport entre les effets qu'il produit et les efforts que la production de ces effets demande. Les éléments qui permettent d'évaluer cette pertinence sont malheureusement difficiles à déterminer.

Ajoutons pour clore cette introduction aux travaux sur le concept de coopération qu'il ne faut pas confondre la coopération dialogique et la coopération comportementale. La première est nécessaire pour assurer la cohérence conversationnelle du dialogue alors que la seconde est une hypothèse sur le comportement extra-linguistique de l'agent (Airenti *et al.*, 1993).

4.2. Structure intentionnelle du dialogue

L'idée qui sous-tend toutes les approches intentionnelles est la suivante : la structure du dialogue n'est qu'un épiphénomène qui résulte des intentions (et éventuellement de la coopérativité) des interlocuteurs. Cette idée a été généralisée par Grosz et Sidner (1986) pour qui les trois éléments constitutifs de la structure du dialogue sont :

- *La structure linguistique* : ce sont les énoncés d'un dialogue agrégés en segments de dialogue (DS, *Dialogue Segment*) ; plus éventuellement des relations d'emboîtement entre eux ;
- *La structure intentionnelle* : il est possible de distinguer pour chaque segment de dialogue un but propre (DSP, *Discourse Segment Purpose*), sous-but du but global du dialogue. Les DSPs peuvent être liés entre eux par deux types de liens : (1) les liens de domination et (2) les liens de satisfaction ;

- *L'état attentionnel* : c'est ce sur quoi se focalise dynamiquement l'attention à un moment du dialogue. Cet état est généralement modélisé par une pile.

Selon Grosz et Sidner, la structure linguistique traduit la structure intentionnelle. En particulier, les relations d'emboîtement de la structure linguistique sont le reflet de cette structure intentionnelle. Ces auteurs précisent toutefois : « la structure intentionnelle n'est pas isomorphe à la structure de la tâche sous-jacente ».

De nombreuses recherches ont été effectuées dans l'espoir de formaliser cette structure intentionnelle. Le domaine de l'IA concerné par la coordination d'actions en vue d'atteindre un but est la planification. C'est donc une approche par la planification qui s'est naturellement imposée comme première approche pour formaliser la structure intentionnelle.

4.2.1. Approches par la planification classique

Le premier système qui utilise explicitement la planification pour le dialogue est celui de Allen, Cohen et Perrault (Cohen et Perrault, 1979 ; Allen et Perrault, 1980), inspiré des travaux de Bruce (1975) qui fut le premier à utiliser les actes de langage pour des travaux d'IA sur les actions et les plans. Dans ce système, les intervenants sont dotés d'états mentaux (*Want* pour l'intention, *Bel* pour la croyance, *Know* pour la connaissance, c'est-à-dire la croyance justifiée et *MB* pour la croyance mutuelle). Les actes de langage sont représentés comme des actions quelconques (c'est-à-dire en termes de préconditions, de corps et d'effets) qui affectent les croyances des interlocuteurs, comme l'illustre le tableau 4 pour l'opérateur *Inform*.

Tableau 4 — Caractéristiques de l'action *Inform*.

Entête	<i>Inform</i> (A,B,p)
Préconditions	Know(A,p)
Corps	MB(A,B,Want(A,Know(B,p))
Effets	Know(B,Know(A,p)) et Know(B,p)

Le système de planification utilisé est une version modifiée du STRIPS de Fikes et Nilsson (1971). L'hypothèse centrale est que les actes de langage sont planifiés au même titre que les autres actions. Les plans sont reconstruits par l'interlocuteur à partir de la connaissance des opérateurs et de règles de construction de plan de la forme :

$Want(A,X) \Rightarrow Want(A,Y)$ où X et Y sont donnés par le tableau 5.

Tableau 5 — Éléments pour l'inférence de plans.

X	Y
Action	Effet
Précondition	Action
Corps	Action

On serait donc tenté de dire que la reconnaissance d'intention implique simplement la mise en œuvre de règles permettant à l'interlocuteur, sur la base de ces règles de construction, d'inférer le plan du locuteur, comme avec la règle suivante :

$Bel(B, Want(A, X)) \Rightarrow Bel(B, Want(A, Y))$, où X et Y sont de nouveaux donnés par le tableau 5.

C'est vrai, mais ce n'est pas si simple, car il convient de faire une distinction entre deux types de reconnaissance de plans :

- *La reconnaissance à l'insu* : en inversant les règles d'élaboration de plan, l'auditeur peut retrouver le plan du locuteur. Cette reconnaissance est indépendante de l'intention communicative du locuteur. C'est un aspect très important de la communication puisque c'est ce qui permet de devancer le locuteur en donnant des réponses pleinement coopératives.
- *La reconnaissance d'intention communicative* : la reconnaissance à l'insu n'est pas suffisante pour reconnaître le plan que le locuteur souhaite transmettre. Celle-ci nécessite un niveau d'imbrication supplémentaire : $Bel(B, Want(A, Bel(B, Want(A, X))))$. Cette reconnaissance est nécessaire pour prendre en compte les actes de langage indirects.

Le principe de coopération prend la forme de *l'adoption de but* : après avoir inféré le but du locuteur et son plan pour le réaliser, un auditeur coopératif donnera l'information manquante du plan de manière à ce que le locuteur puisse réaliser son but.

Cette approche d'une grande importance historique souffre d'au moins deux problèmes :

- On se cantonne à l'analyse d'un seul énoncé (une paire d'adjacences si on considère la réponse donnée). Or, la reconnaissance de plan est souvent le résultat de véritables échanges (reconnaissance incrémentale, (Carberry, 1990)).
- Avec cette approche, la structure du dialogue est calquée sur la structure de la tâche sous-jacente. De nombreux dialogues ne respectent pas cet isomorphisme. C'est notamment le cas lorsqu'un sous-dialogue de clarification est entamé (il n'est généralement pas prévu dans la tâche,...).

Cette seconde difficulté a donné lieu à la différenciation explicite par Litman et Allen (1990) de deux types de plans :

- Les *plans de domaine* modélisent les tâches extra-linguistiques sous-jacentes au dialogue.
- Les *plans de discours* sont des méta-plans qui permettent de manipuler la structure d'autres plans. Il y a trois types de relations entre les plans du discours et ceux du domaine : (1) relation de continuation (permet de commencer l'exécution du plan de domaine ou d'en poursuivre le déroulement), (2) relation de clarification (identifier un paramètre, proposer une correction du plan courant,...) et (3) relation de changement de sujet (permet d'introduire un nouveau plan de domaine). Sur la base de ces trois relations, cinq méta-plans ont été proposés : *suivre_plan*, *identifier_paramètre*, *corriger_plan*, *introduire_plan*, *modifier_plan*.

La structure globale du dialogue est modélisée par une pile de plans du domaine et de méta-plans, elle-même composée d'autant de sous-piles que le plan de domaine a de pas ou d'étapes. Carberry (1990) précise que ce modèle, bien que restrictif, semble assez conforme à la majorité des comportements dialogaux observés.

Pourtant, il peut arriver que les participants au dialogue possèdent plusieurs solutions alternatives pour un même problème, et qu'en conséquence, ils souhaitent évaluer les différents plans à leur disposition. Pour ce faire, le modèle de Ramshaw (1989), repris depuis par Lambert et Carberry (1991), propose donc un troisième niveau (intermédiaire) de résolution de problème (ou élaboration de plan) qui permet aux interlocuteurs de considérer plusieurs possibilités de plans leur permettant de réaliser les buts du niveau domaine.

4.2.2. Approches des plans par les attitudes mentales

Une autre approche de la planification préconise la traduction des plans en termes d'états mentaux plutôt qu'en termes de structures de données. En effet, les plans vus comme de simples structures de données posent des problèmes :

- Il y a redondance des liens de cause à effet, car la même action représentée différemment évoquera l'une ou l'autre ;
- La notion de pré-condition est ambiguë : est-ce que l'action est déclenchée lorsque les pré-conditions sont remplies ou est-ce que cela rend juste l'action possible ?

Ainsi, pour Pollack (1990), il existe deux types de relations entre les actions : « rendre possible » et « génération ». Il existe une relation « rendre possible » entre deux actions si la réalisation de la première permet la réalisation de la seconde. La relation « génération » est plus forte puisqu'elle indique qu'une action sera réalisée par la réalisation d'une autre. Pollack distingue les *recettes* des plans. Formellement, une recette est une suite d'actions pour réaliser une action plus complexe. Comme certaines des actions de la recette peuvent être des actions complexes, une recette complète se représente sous la forme d'une arborescence appelée graphe de recette (*Rgraph*). Dans ce cadre, un agent A a un plan P pour réaliser une action b en effectuant une recette R si (cette définition simplifiée ne tient pas compte des relations « rendre possible ») :

1. A croit qu'il peut réaliser chaque action de R ;
2. A veut réaliser chaque action de R ;
3. A croit que réaliser R provoquera la réalisation de b ;
4. A veut exécuter R comme moyen de réaliser b ;
5. A croit que chaque action de R joue un rôle dans le plan P ;
6. A veut que chaque action de R joue un rôle dans le plan P.

Dans le système de Pollack, des règles d'inférence de plan permettent à l'interlocuteur de se représenter le plan du locuteur en termes de ses attitudes mentales. Ainsi, ce modèle permet de traiter les dialogues au cours desquels le plan du locuteur est reconnu comme étant invalide. C'est le cas dans le dialogue suivant :

A : Je dois aller à Paris. Puis-je avoir un billet pour le train 77 ?

B : Le train 77 ne va pas à Paris. Vous feriez mieux de prendre le train 88.

Où B a pu inférer :

1. Bel(B, Bel(A, Exec(aller_Paris)))
2. Bel(B, Bel(A, Exec(prendre_train_77)))
3. Bel(B, Bel(A, Generation(prendre_train_77, aller_Paris)))
4. Bel(B, Int(A, (aller_Paris)))
5. Bel(B, Bel(A, Int(prendre_train_77)))
6. Bel(B, Bel(A, Int(en(prendre_train_77, aller_Paris)))

Or, la troisième croyance de A, inférée par B, est erronée.

Plus récemment, les formalismes de plans ont été adaptés de manière à traduire la nature intrinsèquement collective et collaborative de certaines activités. Grosz et Sidner (1990) ont ainsi proposé la notion de *plan partagé* en s'appuyant sur les travaux de Pollack. Un plan partagé est une collection d'attitudes mentales faisant intervenir des désirs et des croyances des différents protagonistes (les travaux de ces auteurs, se sont limités à deux interlocuteurs). Suite à de nombreuses critiques, cette notion a été reprise et améliorée par Grosz et Kraus (1996) pour obtenir la structure récursive de plan partagé suivante. Un groupe d'agents G a le plan partagé de réaliser a en utilisant la recette R_a si et seulement si :

1. Le groupe G a la croyance mutuelle des actes et des contraintes qui composent la recette R_a ;
2. Pour les actions individuelles, il existe un agent de G tel que tous les agents de G croient mutuellement que :
 - (a) cet agent a l'intention de réaliser cet acte ;
 - (b) cet agent est capable de réaliser cet acte en utilisant une certaine recette ;
 - (c) cet agent a un plan individuel pour réaliser cet acte ;
 - (d) le groupe G est engagé sur la réussite de cet agent pour l'action considérée.
3. Pour les actions non-individuelles, il existe un sous-groupe de G tel que les membres de G croient mutuellement que :
 - (a) ce sous-groupe a un plan partagé pour réaliser cet acte en utilisant une certaine recette ;
 - (b) ce sous-groupe est capable de réaliser cet acte en utilisant cette recette ;
 - (c) le groupe G est engagé sur la réussite de ce sous-groupe concernant cette recette.

Cette définition requiert donc que les protagonistes s'accordent sur une recette, une distribution des tâches et l'engagement à la réussite des autres. Notons que cette approche ne nécessite pas d'intention collective, car la structure du plan capture la dimension collective. L'intention collective comme attitude mentale primitive doit, de toute façon, être attribuée à un individu en dernier recours.

Cette représentation permet de justifier les comportements coopératifs au cours de l'exécution du plan. Il reste toutefois à déterminer :

1. Comment les individus identifient-ils un besoin de collaborer à propos d'une action ?
2. Comment les groupes se forment-ils pour réaliser l'action en question ?
3. Comment le plan partagé est-il élaboré ?
4. Comment est-il exécuté ?

Ces quatre étapes sont ce que Wooldridge et Jennings (1994) appellent le processus de résolution coopérative de problème. Comme le dialogue est une activité dynamique, les agents ne peuvent pas planifier de manière définitive et complète. C'est pourquoi la notion de plan partiel a été introduite.

L'application de la théorie des plans partagés au dialogue a été étudiée par Lochbaum (1994). Selon celle-ci, si les interlocuteurs sont engagés dans un dialogue, ils ont une bonne raison pour cela : c'est soit qu'ils ne peuvent pas réaliser un certain plan seul, soit que leur plan est incomplet en l'état,... Autrement dit, les interlocuteurs dialoguent pour compléter des plans partiels. Un plan partiel est un plan pour lequel, (1) soit les agents n'ont qu'une recette ou un graphe de recette partiel ; (2) soit une ou plusieurs actions n'ont été attribuées à aucun agent. Pour Lochbaum, il existe deux relations entre plans (individuels ou partagés, partiels ou pas) :

- *Contribution* : un plan contribue à l'établissement de l'une des croyances ou intentions requises pour le second plan. En d'autres termes, la complétion du premier plan contribue à celle du second.
- *Pré-satisfaction* : un plan doit être complété avant l'autre. En d'autres termes, la complétion du premier plan conditionne la complétion du second.

Il est ainsi possible d'analyser les sous-dialogues comme l'exécution de plans contributives à des sous-tâches. En outre, les sous-dialogues de corrections et de clarifications (qui avaient menés Litman et Allen à distinguer plan du discours de plan du domaine) visent à établir des pré-conditions de croyances liées à un plan, essentiellement pour identifier des paramètres ou des recettes à utiliser.

Selon Lochbaum, les plans partagés modélisent donc exactement les DSP de Grosz et Sidner en un seul et même formalisme qui suffit pour prendre en compte de multiples types de dialogues.

4.2.3. Approches de l'interaction rationnelle basées sur la logique

Ces approches, connues sous le nom de *théories de l'interaction rationnelle*, sont une autre application des théories philosophiques et informatiques présentées ci-dessus. Elles ont, sur les approches par planification, l'avantage d'introduire des sémantiques clairement définies. Elles se basent généralement sur des logiques modales épistémiques (type KD45) pour les attitudes mentales et sur la logique dynamique pour la représentation des actions. Elles trouvent leur principale application dans les sémantiques des ACLs (voir section 4.3).

Cohen et Levesque (1990c) ont bâti une théorie de l'interaction rationnelle sur leur théorie de l'action (Cohen et Levesque, 1990a). Dans leur théorie de l'action, l'intention n'est pas une primitive, mais est exprimée en termes de but persistant. Un agent a le but persistant G relatif à la motivation M (PGoal(A,G,M)), si et seulement si :

1. A croit que G n'est pas vrai actuellement ;
2. A veut que G soit réalisé ;
3. Cet état de fait restera vrai tant que : (i) G n'est pas vrai, (ii) G est jugé atteignable et (iii) la motivation M de l'atteindre est présente.

L'introduction de la motivation permet d'éviter que tous les buts ne soient irrévocables, i.e. poursuivis fanatiquement. Le but est un engagement individuel qui ne peut être annulé sans raison. Dans ce cadre, un agent a l'intention de réaliser un but G s'il a le but persistant d'avoir réalisé G, et de l'avoir réalisé intentionnellement (c'est-à-dire non accidentellement).

L'idée principale de leur théorie de l'interaction rationnelle est que les propriétés des actes illocutoires peuvent être dérivées des seuls états mentaux des interlocuteurs. Autrement dit, il n'est plus nécessaire de supposer que le locuteur a l'intention que l'auditeur reconnaisse son intention de réaliser un acte illocutoire particulier, puisque les effets liés à l'acte reconnu seront dérivés. La reconnaissance de l'acte ne sert qu'à inférer l'effet fondamental à partir duquel les autres conclusions seront déduites. Il ne s'agit en aucun cas de la reconnaissance de la force illocutoire au sens de Searle et Vanderveken. Le problème est alors de déterminer quels sont les effets fondamentaux des actes. Techniquement, pour Cohen et Levesque, ces effets sont contextualisés et décrits à l'aide d'axiomes alors que pour Sadek (1991a), ils sont divisés en effets perlocutoires attendus et effets fondamentaux (qui traduisent la préservation des pré-conditions de faisabilité).

Sincérité et bénévolat (la disposition d'un agent à adopter les buts d'autrui si ceux-ci ne contredisent pas les siens) sont deux caractéristiques sur lesquelles repose le comportement coopératif des agents. Ces notions dépassent le cadre du comportement rationnel puisque rien *a priori* ne contraint un agent rationnel à être un tant soit peu coopératif. Elles sont donc capturées par des hypothèses spécifiques, notamment l'hypothèse de sincérité.

Pour adapter leur théorie au cadre des actions collectives, Cohen et Levesque (1991) tentent de définir ce que peut être une intention conjointe dans le cadre de l'interaction rationnelle. La solution retenue est intermédiaire entre la version minimale où chaque agent a la croyance mutuelle que chacun possède l'intention que l'action collective soit réalisée et la croyance mutuelle que chacun ait l'intention de tenir son rôle tant que les autres le font et la version maximale qui exige en plus que cette croyance mutuelle persiste jusqu'à ce qu'il soit mutuellement acquis que l'activité soit réalisée, irréalisable ou plus motivée. La première n'offre aucune garantie que la croyance mutuelle persiste alors que la seconde ne permet pas aux agents de porter un jugement personnel (et privé) sur le statut du but à atteindre. La notion de but affaibli (*weak achievement goal*) est introduite pour contraindre les agents à avertir les autres d'un éventuel changement de leur attitude vis-à-vis de l'objectif commun.

Un agent a le but affaibli de réaliser p relativement à la motivation M et à un groupe d'agents :

- Soit si p est un but « normal » pour lui ;
- Soit si p est déjà atteint (ou inatteignable, ou n'est plus motivé), alors l'agent a le but que ce statut soit mutuellement connu de tous les membres du groupe.

La notion de but persistant conjoint est alors introduite et définie de la manière suivante. Un groupe d'agents T a le but persistant G, si et seulement si :

1. Il est mutuellement cru par les membres de T que G n'est pas vrai actuellement ;
2. Il est mutuellement cru par les membres de T que chacun veut que le but G soit réalisé ;

3. Il est vrai et mutuellement cru que tant qu'il n'est pas mutuellement admis que G est déjà atteint, inatteignable ou plus motivé, il sera toujours mutuellement cru que chaque agent de T possède G comme but affaibli.

Comme dans le cas de l'intention individuelle, l'intention conjointe peut alors être définie comme le but persistant conjoint d'avoir réalisé une action, avec la croyance mutuelle que cette action a été réalisée intentionnellement (consciemment et volontairement). On retrouve ici, comme chez Lochbaum, l'idée que la communication est expliquée par son rôle de contrôle dans une activité collective. La communication provient rationnellement de la nécessité de maintenir les croyances associées à l'intention conjointe.

4.3. Sémantique des langages de communication agents (ACLs)

Les sémantiques des ACLs sont une application directe des approches intentionnelles logiques discutées ci-dessus (on les appelle encore approches mentalistes du fait de leur référence systématique aux états mentaux). Fournir une sémantique formelle aux actes de langage va permettre d'analyser rigoureusement l'utilisation des communications aussi bien dans les SMAs que dans les sociétés humaines (Chaib-draa et Vanderveken, 1998). Avant de parler de la sémantique des ACLs, rappelons que l'on envisage généralement la sémantique des langages formels à l'aide de pré-conditions indiquant à partir de quel état l'action peut être entreprise et de post-conditions indiquant ses effets.

4.3.1. Sémantique de FIPA-ACL

Les deux ACLs principaux KQML et FIPA-ACL (présentés section 2.2) sont basés sur la théorie des actes de langage : les messages sont considérés comme des actions avec leurs conséquences sur l'environnement (en l'occurrence les états mentaux des agents). Des sémantiques mentalistes ont été définies pour ces actes. Celle de FIPA-ACL s'exprime en termes de conditions de faisabilité et d'effets rationnels. Un acte est sélectionné lorsque les conditions de faisabilité sont remplies et que l'effet rationnel correspond à une intention du locuteur.

La sémantique de FIPA-ACL est basée sur celle d'ARCOL (Sadek, 1991b). Elle définit 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 (voir section 4.2.3) sa forme actuelle est due à Sadek (Finin *et al.*, 1999).

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 envisagées 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 agents qui veulent utiliser FIPA-ACL de manière sémantiquement cohérente doivent être conçus dans un style BDI, ce qui peut constituer une contrainte gênante.

4.3.2. Sémantiques de KQML

Contrairement à la sémantique de FIPA-ACL, KQML ne présupposait pas originellement que les agents soient de type BDI. La sémantique informelle attachée aux performatifs impliquait simplement que l'agent devait pouvoir manipuler une base virtuelle de connaissances (ajouter/extraire des assertions). Ces faibles contraintes ont laissé une grande liberté aux concepteurs et c'est pourquoi différentes sémantiques ont vu le jour (Cohen et Levesque, 1990b). Finin et Labrou (1998), notamment, ont fourni une sémantique pour chaque performatif en termes de pré-/post-conditions pour le locuteur et l'interlocuteur avec une condition de complétude en plus.

Les pré-conditions indiquent les états mentaux qu'un agent doit nécessairement posséder pour pouvoir utiliser un performatif et pour que le récepteur puisse l'accepter. Les post-conditions indiquent les états mentaux de l'émetteur après l'énonciation réussie d'un performatif et ceux du récepteur après la réception du message. Finalement, la condition de complétude indique les états mentaux qui correspondent à la satisfaction de l'intention qui motive l'échange.

Par exemple (voir tableau 6), 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/désire 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 croit X. La condition de complétude permet de s'assurer que le performatif 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 ce performatif appelée `proactive-tell`.

Tableau 6 — Sémantique KQML des performatifs `tell` et `proactive-tell`.

	<code>tell</code>	<code>proactive-tell</code>
Pre(A)	$Bel_A(X) \wedge Know_A(Want_B(Know_B(S)))$	$Bel_A(X)$
Pre(B)	$Int_B(Know_B(S))$ avec $S=Bel_B(X)$ ou $S=\neg Bel_B(X)$	
Post(A)	$Know_A(Know_B(Bel_A(X)))$	
Post(B)	$Know_B(Bel_A(X))$	$Know_B(Bel_A(X))$
Complétude	$Know_B(Bel_A(X))$	$Know_B(Bel_A(X))$

La sémantique proposée par Labrou (1996) est basée sur une logique multimodale sophistiquée et contraint les agents à 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 (1998) à KQML comme proposé dans leur article, mais il en serait de même. Par contre, cette dernière prend en compte le degré d'intensité des forces illocutoires et certaines facettes des conditions préparatoires qui ont été laissées de côté par Labrou et Finin.

4.4. Limitations des sémantiques mentalistes des ACLs

Il peut sembler que pour les SMAs, les théories formelles de l'énoncé en langage naturel, telle que la théorie des actes de langage, soient pertinentes moyennant quelques extensions. L'idée d'un cadre standard a donné lieu aux ACLs. Et finalement, ce sont les sémantiques des ACLs qui dans l'esprit des approches intentionnelles sont censées assurer le passage de l'énoncé au dialogue. Pour autant, on ne peut pas dire que les agents conversent. Le simple enchaînement d'actes de langage isolés ne donne pas forcément une conversation cohérente. S'il n'y a pas de « consensus » autour de la forme syntaxique que les ACLs peuvent prendre, il n'y en a pas non plus pour ce qui est de leurs sémantiques (Dignum, 2000). Il n'y a pas de modèles clairs et calculables de la sémantique des actes de langage et moins encore de la sémantique des conversations dans les SMAs.

Comme le souligne Dignum (2000), 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. Avant de présenter (section 4.5 et 4.6) les critiques générales des approches intentionnelles logiques qui s'appliquent ici, concentrons-nous sur les problèmes concernant spécifiquement la sémantique et la pragmatique des ACLs actuels.

4.4.1. Problèmes concernant la sémantique des ACLs

Problème de la minimalité sémantique : les systèmes de pré/post-conditions habituellement utilisés dans les ACLs permettent de rendre compte du sens minimal des messages. 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 déductions qu'il est typiquement formellement intractable (Dignum, 2000). Pourtant, l'usage d'un ACL avec une sémantique complète, facilement extensible, est un énorme atout pour des SMAs hétérogènes et ouverts. Malheureusement, 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 calculatoire 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 l'ACL utilisé. Ce type de problème peut advenir lorsque les contraintes (pourtant nécessaires) de la sémantique des ACLs sont trop fortes pour l'agent. Cela arrive par exemple avec les conditions de sincérité. La plupart des sémantiques des ACLs (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 (manipulation, mensonge,...) si cela l'aide à atteindre ses buts¹². 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 joignabilité sûre qui stipule que les agents reçoivent correctement tous les messages qui leur sont envoyés,...) 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.

Les communications agents souffrent donc de l'absence d'une sémantique concise, tractable et universellement acceptée. Comme l'indiquent Koné et ses collègues (Koné *et al.*, 2000), cela confine la communication agent à des environnements restreints et cela rend difficile (voir impossible dans certains cas) la communication entre des agents hétérogènes, c'est-à-dire développés par des concepteurs différents.

4.4.2. 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 n'est pas pris 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. Idéalement, 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.

4.5. Avantages et applications des approches intentionnelles

Le principal avantage des approches intentionnelles est leur complétude (informelle). En effet, les approches intentionnelles couvrent trois des composantes majeures du traitement de la communication : la syntaxe est couverte par les ACLs qui découlent de la théorie des actes de langage ; la sémantique des ACLs est bien définie en termes

¹² Cas fréquents en commerce électronique et plus généralement en économie lors de stratégies de maximisation de gain.

des attitudes mentales des agents et la pragmatique est gérée par un système de planification collective ou par une théorie de l'interaction rationnelle (complétée par une forte hypothèse de coopération). Cependant, les modèles issus des approches intentionnelles sont complexes à implanter. Bien qu'envisagées spécifiquement pour les agents artificiels *via* les sémantiques mentalistes développées pour les ACLs, ce sont les approches intentionnelles basées sur les plans qui ont été appliquées aux IHM (Interfaces Homme-Machine), dans un cadre mono-agent.

Par exemple, le modèle développé par Balkanski et Hurault-Plantet (2000) utilise la reconnaissance et l'élaboration de plans pour comprendre et accomplir des actes communicatifs dans le contexte orienté-tâche bien délimité d'un répondeur téléphonique qui redirige les usagers vers le poste téléphonique souhaité. Il existe des systèmes comparables également basés sur les plans comme le système TRAINS dû à Allen et son équipe (1995) ou encore le raisonneur de plans de domaine de Ferguson (1995). D'autres sont plus axés sur le raisonnement et utilisent les plans *via* les approches logiques comme le *Circuit Fixit System* de Duke (Smith *et al.*, 1995) et le système *Artimis* développé par l'équipe de France Télécom (Sadek *et al.*, 1997). Toutes ces applications se heurtent aux limites imposées par la planification (voir section suivante). Les approches logiques qui dépassent ces limitations, sont quant à elles trop lourdes et complexes (en termes de complexité informatique) pour les agents et pour leurs concepteurs de sorte qu'on ne leur connaît pas d'applications réelles dans le cas multi-agents.

4.6. Limites des approches intentionnelles

L'approche intentionnelle logique propose une théorie complète de la communication. Cependant, sa version théorique générale est trop complexe pour être implantée telle quelle. Les modèles mentaux impliqués sont généralement exprimés dans des logiques multimodales dont l'implémentation est encore un sujet de recherche. Les simplifications consenties pour arriver à une implantation font perdre une partie de la puissance de ces modèles, notamment leur sémantique. C'est ainsi que, malgré la chronologie, les approches intentionnelles basées sur la planification peuvent être vues comme une simplification des approches logiques dans le cadre computationnel plus facilement implémentable de la planification. Ce faisant, les domaines d'application ont été limités aux domaines orientés tâche, laissant de côté les autres types de dialogues. Les approches intentionnelles basées sur les plans ont été appliquées et donc implémentées avec succès. Cependant, comme le souligne Cohen (1996), il reste des limites théoriques inhérentes aux modèles basés sur les plans, en particulier :

- *La dépendance au domaine* : le modèle est basé sur la bonne définition des recettes qui doivent prévoir toutes les possibilités, c'est-à-dire couvrir tout le domaine. Cela limite d'autant la portée de ce type de modèle.
- *Le manque de bases théoriques* : même si ces modèles sont computationnels et ont permis de nombreuses avancées dans la compréhension des conversations, il leur manque des fondements théoriques. En ce sens, ce sont des modèles à court terme qui sont efficaces du fait de leur nature procédurale, mais ils ne constituent pas une théorie du dialogue.

À cela, viennent s'ajouter des limitations communes à toutes les approches intentionnelles :

- *La complexité des inférences* : les algorithmes de reconnaissance de plan sur lesquels reposent les approches intentionnelles par planification sont combinatoirement intractables dans le pire des cas, et indécidables dans certains cas (Bylander, 1991). Pour ce qui est des approches logiques, la sémantique des actes communicationnels est tellement riche qu'il est trop complexe de déterminer les réponses possibles en inférant les états mentaux des autres agents (Maudet et Chaib-draa, 2001).
- *La sémantique des messages* : Comme le rappellent Maudet et Chaib-draa (2001), dans les approches intentionnelles logiques, la sémantique des messages est formulée en termes d'états mentaux, aspects privés aux agents. Cela pose le *problème de la vérification sémantique* : pour que la sémantique des messages soit vérifiable, il faudrait avoir accès aux états mentaux privés des agents ce qui n'est généralement pas possible¹³. Le second problème majeur posé par cette formulation est le *problème de l'hypothèse de sincérité* nécessaire à la définition d'une telle sémantique. Cette hypothèse est jugée trop contraignante par la communauté SMA (Dignum, 2000). Elle interdit notamment d'envisager correctement certains types de dialogues dans des domaines où une telle hypothèse ne saurait tenir, comme c'est le cas par exemple pour les dialogues de négociation dans le commerce électronique.
- *L'hypothèse de coopération* : les approches intentionnelles reposent toutes sur une hypothèse de coopération. Cette hypothèse a d'abord été formulée comme adoption de but (voir section 4.2.1) puis de manière moins contraignante comme une participation attendue à l'action conjointe (dans les théories de l'interaction rationnelle, voir section 4.2.3). L'idée selon laquelle la communication émerge rationnellement de l'action collective sous-jacente est fondamentale dans les approches intentionnelles. Si cette idée est élégante, elle reste néanmoins liée à la considération d'une activité collaborative. En conséquence, il n'est pas possible d'expliquer par ces approches, ce qui motive la communication lors de situations non-collaboratives (Traum, 1994).

Finalement, le rôle central de l'intention dans toutes ces approches peut aussi être questionné du point de vue de son universalité et ces approches sont parfois qualifiées d'ethnocentriques (Nuyts, 1994). En effet, l'analyse de conversation montre bien qu'une grande partie des dialogues comprennent des phases ritualisées (ouverture, fermeture, remerciements,...) qui sont sans rapport avec la reconnaissance d'intention et qui ne sont pas prises en compte par ces approches. On peut donc se demander si ces approches sont pleinement satisfaisantes pour la modélisation du dialogue et plus généralement : les attitudes mentales considérées sont-elles pertinentes ? Les notions classiques de croyances, désirs et intentions ne traduisent nullement l'idée d'engagement social ou d'obligation pourtant cruciale pour considérer l'action collective (Traum, 1994). Les approches intentionnelles n'indiquent pas comment caractériser cette intuition de « liant collectif » qui explique que les interlocuteurs peuvent généralement compter sur certaines actions les uns des autres.

¹³ La vérification sémantique dont il s'agit ici ne doit pas être confondue avec la vérification formelle que les agents implémentent correctement une sémantique mathématique particulière. La vérification dont il est question ici est plutôt la vérification que peut entreprendre un agent sur un autre pour s'assurer qu'il agit de manière cohérente vis-à-vis des dialogues tenus.

5. Approches conventionnelles et sociales

5.1. Fondements philosophiques

5.1.1. Convention, normes sociales et règles

Une *convention* est une régularité qui existe au sein d'une communauté (sans pour autant avoir nécessairement fait l'objet d'accords explicites). Les *normes sociales* sont généralement définies comme des conventions accompagnées des notions de sanction, de jugement des autres, d'obligation dont le maintien ne peut pas être réduit à des considérations d'ordre rationnel. Nous ne distinguerons pas les deux notions.

Il est habituel d'exprimer normes et conventions sous forme de règles. Pour ce qui est des conventions dans le dialogue, Allwood (1994) constate trois types de régularités :

- Celles qui dépendent des relations au sein d'un énoncé ;
- Celles qui dépendent des relations entre énoncés ;
- Celles qui dépendent des relations entre les facteurs globaux et les énoncés.

C'est sur le second type de régularité dans le cours d'un dialogue que les approches conventionnelles se concentrent. L'idée de ces approches est donc que la *cohérence conversationnelle* (Craig et Tracy, 1983) peut être garantie (sans hypothèses de coopération ni d'intentionnalité) par les seules conventions. Le problème n'est pas de savoir comment ces régularités sont établies, on suppose les interlocuteurs prêts à s'y conformer. Il s'agit alors de limiter les formes possibles d'expression, de manière à ce que l'intention véhiculée soit non ambiguë et qu'il ne soit plus nécessaire d'effectuer une analyse pragmatique complexe en vue de la reconnaître. Parmi ces modèles, on trouve les protocoles de communications (voir section 5.2) et plus récemment les approches par jeux de dialogues que nous détaillerons après avoir introduit un certain nombre d'autres notions fondatrices issues de la dialectique formelle (section 5.3 et suivantes).

5.1.2. Engagements communs sur des projets communs

Pour Searle (1992b), toute conversation est l'expression d'une intention conjointe (*We-intention*). Ce type d'intention transcende la conjonction des états intentionnels individuels. Cette intentionnalité partagée est un facteur d'explication important pour tous les comportements sociaux. Searle considère cette intention collective comme un élément de base qui ne se réduit pas à la somme des intentions individuelles (*I-intention*) et de leurs connaissances mutuelles. Néanmoins, des intentions individuelles 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 » inclut la *I-intention* (pourtant très différente) « j'offre 5\$ pour X » et la *I-intention* « je refuse ton offre ».

Clark (1996), lui, considère l'usage social du langage comme un *type d'activité commune*. Il utilise le concept de *type d'activité* de Levinson (1979), qui est une notion plus générale que la notion de type de discours, car elle inclut des événements sociaux autres que le discours ou bien dans lesquels le discours n'a qu'une place incidente. Clark introduit la notion de projet conjoint. Un *projet conjoint* est une action commune proposée/suggérée par un des participants et

acceptée/réalisée par tous. Un *projet conjoint* pourrait être un plan, une recette ou une procédure pour accomplir une activité ensemble (Chaib-draa et Vongkasem, 2000). Pour avoir des chances d'aboutir, un tel projet nécessite l'engagement de tous les participants. Ainsi, on peut dire que les *We-intentions* se manifestent par des *engagements conjoints* sur des *projets conjoints*.

Lors d'une conversation libre, l'*intention conjointe* 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 conjointe 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 conjoints. Chaque participant doit s'engager dans le projet conjoint, après quoi il s'agit d'une intention conjointe.

Quand les agents prennent part à une *activité commune*, à l'exécution d'un plan commun ou à un *projet conjoint*, ils accomplissent des actions conjointes. Beaucoup de ces actions conjointes (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 seule 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. Il convient d'étudier aussi, la façon dont le locuteur génère l'acte dans le 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.

5.2. Protocoles de communication

L'idée de protocole est une réification de l'idée de projet conjoint conventionnel. Dans le champ de la communication dans les systèmes artificiels, les protocoles de communication pallient 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 à des conversations qui sont des suites 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 de trouver l'acte de l'ACL dont la sémantique s'unifie 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 langage précédents). Cela pose le problème du lien entre la définition de la sémantique d'une primitive d'ACL et la conversation à laquelle elle participe. D'un côté, il semble clair que le sens général d'une conversation (les engagements/promesses/informations qui y circulent) ne peut se passer du sens des performatifs 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 et concepts présentés ci-dessus (voir section 5.1). Les activités, actions et intentions communes sont alors les éléments de base de ces sémantiques au même titre que les croyances, désirs et intentions individuelles.

Actuellement, dans les SMAs concrètement développés, 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 poursuite de la conversation à donner tout en restant cohérent avec la sémantique. Du fait de cet avantage computationnel, quasiment tous les SMAs utilisant un ACL sont dotés d'une couche « conversation », qu'elle soit standard ou *ad hoc*¹⁴. La spécification de ces conversations se fait à l'aide de protocoles et de stratégies de conversation (traduit de l'anglais : *conversation policies*).

Un *protocole* spécifie les actions ou réactions (communicatives dans notre cas) autorisées, souvent en nombre limité, en fonction de l'état de la conversation. Les protocoles (ou stratégies de conversations) spécifient des séquences d'actes communicatifs sans rien préciser du contenu des actes. S'ils ont donc l'avantage de simplifier le calcul des réponses possibles à un message donné, ils ont par contre le désavantage de contraindre la forme de la conversation de manière draconienne.

On regroupe sous le nom de *stratégies de conversation* ou conduites de conversation, les tentatives d'assouplir l'utilisation des protocoles en spécifiant à un plus haut niveau les interactions à utiliser en fonction du contexte. Ce domaine est relativement jeune et aucun consensus sur la définition de ces stratégies de conversation n'a été atteint. Ces instructions de haut niveau permettent outre le choix de protocoles adaptés à la situation, la gestion des exceptions et problèmes lors de leur déroulement. Plusieurs modèles ont été proposés, qu'ils soient basés sur l'assemblage de micro-protocoles (Huget, 2001) ou d'échange question-réponse (Elio *et al.*, 2000), sur un système de décomposition du sujet et du type de la conversation en actes de langage (Lin *et al.*, 1999) ou sur la gestion des situations inattendues et des cas d'échec de protocoles (Philips et Link, 1999). Nous n'approfondirons pas ici ces idées car la littérature nous fait penser qu'elles souffrent d'une absence de consensus, de formalisation et d'application. En outre, ces techniques sont issues de l'ingénierie et sont donc peu liées aux travaux sur les fondements que nous décrivons dans cet état de l'art. Il convenait simplement de les nommer car elles ont joué un rôle dans la constitution des approches conventionnelles les plus récentes, notamment en mettant en avant les notions de sujet et de type de conversation.

5.2.1. Règles de conversation et protocoles de KQML et FIPA-ACL

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 agent et se termine lorsque ce dernier répond. Les variantes sont obtenues par l'utilisation de performatifs de régulation de conversation. Comme leur nom l'indique, ces performatifs permettent aux agents d'intervenir dans le cours normal d'une conversation. Elles permettent notamment 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 (1996), présente un certain nombre de mini-conversations ainsi que leurs sémantiques et les contraintes qui lient les

¹⁴ Elle est standard si les agents utilisent des protocoles standards comme ceux de FIPA-ACL (voir ci-dessous), le contract-net, le protocole pour demande d'action de Winograd et Flores (1986) ou tout travail connu du domaine. Elle (et c'est majoritairement le cas) est *ad-hoc* si les développeurs ont défini eux-même les protocoles ou enchaînements de messages que leurs agents utiliseront de manière systématique.

différents performatifs les composant. Ces mini-conversations sont conçues pour servir d'éléments de base pour des échanges plus importants.

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

5.2.2. Problèmes concernant les protocoles

Malgré leur apparente simplicité, l'utilisation des protocoles soulève un certain nombre de questions. Même si les conversations peuvent être structurées par enchaînement de protocoles, ce type d'approche semble trop rigide à la majorité des chercheurs.

En outre, il existe plusieurs candidats non-équivalents pour la spécification de protocoles : les réseaux de Pétri, les réseaux de transitions à états finis, les arbres de sous-buts, les graphes de Dooley ainsi que d'autres approches fondées sur la logique. Ces formalismes offrent des degrés de souplesse des conversations envisageables très variables.

Finalement, les protocoles sont extrêmement contraignants et les messages non attendus dans le protocole ne seront pas examinés. Reste aussi à savoir comment des agents se mettent d'accord sur l'utilisation d'un protocole. Puis, comment les implémenter dans les systèmes multi-agents ? Doivent-ils faire partie de l'axiomatique de la communication ? Comment apprend-on de nouveaux protocoles ? Comment intégrer les protocoles au sein du fonctionnement de l'agent ?

C'est pourquoi de nombreuses recherches récentes considèrent une approche alternative aux protocoles, centrée sur le niveau social. En effet, si les protocoles sont limitatifs, les agents doivent néanmoins suivre des conventions sociales qui rendent possible la conversation. Les fondements de ces approches sont présentés dans la prochaine section. En effet, ces approches sont généralement inspirées de la dialectique formelle (dont d'autres concepts seront présentés en section 5.5) qui a introduit les notions d'engagements sociaux et de tableaux de conversation qui permettent de tenir compte de l'arrière-plan conversationnel et du fond commun.

5.3. Fondements des approches conventionnelles sociales

5.3.1. Arrière-plan, fond commun et établissement¹⁵

La notion d'*arrière-plan* est la clé de voûte de la philosophie Searlienne (Searle, 1992a). L'idée en est simple : les mots et les phrases ne suffisent pas en eux-mêmes à générer une interprétation. Le même sens linguistique admettra des interprétations différentes selon les usages¹⁶. Par exemple, le verbe ouvrir s'interprète différemment dans « ouvrir les yeux », « ouvrir un restaurant », « ouvrir son cœur », « ouvrir une porte », « ouvrir le débat ». Pour Searle, tout ce qui est sens s'appuie sur un ensemble d'aptitudes, de dispositions et de capacités dites d'*arrière-plan*. L'*arrière-plan* ne fait pas partie du sens et pourtant le sens n'existe en tant que tel que par

¹⁵ Les termes *arrière-plan*, *fond commun* (parfois appelé *terrain commun*) et *établissement* sont les traductions « fragiles » de : *background*, *common ground* et *grounding* dont il est difficile de rendre exactement compte en français.

¹⁶ La notion d'*arrière-plan* inclut celle de contexte mais ne s'y réduit pas.

rapport à lui¹⁷. En première approximation, on réduit l'arrière-plan à ce qui est dit et communément accepté dans le cadre d'une conversation, c'est ce que l'on appelle le fond commun. À cet égard, la notion de croyance commune introduite par Clark et Schaeffer (1987) avec la notion d'*établissement* semble acceptable. Une information est d'abord présentée, comprise (retour de compréhension) puis acceptée : on dira alors qu'elle est socialement établie. Elle devient alors commune. Cette façon de voir évite le problème de la récursivité infinie des croyances mutuelles : je sais qu'il sait que je sais qu'il sait que je...

Ce qui rend néanmoins difficile la formalisation de ces notions dans le cas de la communication humaine, c'est la diversité des types de présentation (directe, co-construite,...) et d'acceptation (implicite par continuation ou explicite comme « OK » ou encore par une sous-conversation,...). Ainsi, il est souvent difficile de dire si un énoncé fait partie de la présentation ou de l'acceptation. Le caractère formel des communications agents lève cette difficulté.

Dans les approches conventionnelles et par opposition aux approches intentionnelles, l'emphase est mise sur l'aspect public de la conversation. Introduit pour rendre compte de la construction collective et publique des conversations, le *tableau de conversation* est un enregistrement (éventuellement structuré) de l'état de la conversation. Il fait partie du fond commun encore appelé arrière-plan conversationnel. Les débats pour savoir ce que doit contenir le tableau de conversation ne sont pas clos et on ne sait s'il doit se limiter à l'histoire de la conversation ou bien être plus général et capable de s'adapter de manière à rendre corrects les énoncés. L'implantation de celui-ci est aussi problématique. La question de savoir si ce tableau doit être centralisé ou bien si chaque agent doit en posséder sa propre version reste en suspens. Dans le second cas, on parle d'*agenda*.

5.3.2. Les engagements sociaux

Le comportement des agents cognitifs conventionnels est basé sur l'état interne privé, c'est-à-dire les attitudes mentales de l'agent. Or, les agents sont habituellement définis en termes d'autonomie, d'inter-opérabilité et de leur capacité à atteindre ensemble des buts communs. Le point de vue mentaliste, centré sur l'agent-individu, n'aide pas à définir une sémantique pour tout ce qui est commun et partagé dans un groupe d'agents. Dans ce cadre, la communication agent souffre d'un manque de sémantique formelle concise et universellement acceptée (voir section 4.4.1), de sorte que la communication agent est restreinte à des domaines précis dans des environnements qui ne sont pas ouverts. Un certain nombre de solutions à ce problème ont été récemment proposées dans lesquelles le caractère social des agents est mis de l'avant (Singh, 1998 ; Colombetti, 1998 ; Moulin, 1997). La notion d'*engagement social*, présente notamment en dialectique formelle (Walton et Krabbe, 1995), a alors rapidement émergé comme permettant de capturer un niveau public du dialogue.

La notion d'engagement social ne doit pas être confondue avec la notion d'engagement individuel évoquée ci-dessus (et utilisée, par exemple, par Cohen et Levesque (1990a) dans leur théorie de l'action rationnelle pour traduire la persistance liée à l'intention). Les engagements jouent un rôle central dans le

¹⁷ Cette idée est déjà en germe chez les philosophes de l'école Gestalt. Notons en outre que Searle pose cet arrière-plan langagier comme infini et non représentable, ce qui l'amène à conclure l'existence d'une complexité irréductible de la conscience.

dialogue (Walton et Krabbe, 1995), ce sont des entités complexes qui alimentent le tableau de conversation. Conceptuellement, les engagements sociaux capturent les obligations que contractent les agents les uns envers les autres (Castelfranchi, 1995). En effet, les engagements sociaux sont orientés et indiquent les responsabilités d'un agent envers un autre¹⁸ concernant une action à accomplir ou une proposition à maintenir (Singh *et al.*, 1999). Dans la littérature, on leur attache les caractéristiques suivantes (reprises, adaptées et complétées de Maudet (2001)) :

- *Les engagements sont sociaux* : ce sont des engagements vis-à-vis d'autres membres d'une communauté. La particularité principale des engagements sociaux est qu'ils doivent être socialement établis. Ce sont des cognitions partagées, communes. En respectant la propriété d'autonomie des agents, la seule manière pour un agent de déterminer qu'un autre agent partage une cognition (en l'occurrence la connaissance d'un engagement social) est l'observation des actes de communications qui doivent permettre d'établir de nouveaux engagements. Finalement, on nomme créateur l'agent engagé et débiteur(s) celui (ou ceux) envers qui l'engagement est pris.
- *Les engagements sont publics* : les engagements sont publics et accessibles à tous¹⁹. Pour ce faire, ils sont stockés dans une structure de données commune ou accessible à tous. Dans les systèmes rencontrés jusqu'alors, ces structures sont de deux types, l'une est centralisée et l'autre répartie : tableau de conversation ou agendas personnels publics.
- *Les engagements sont propositionnels ou en action* : les engagements propositionnels concernent les éléments propositionnels (par exemple : l'énoncé « je crois que p » engage le locuteur envers ses interlocuteurs sur son contenu propositionnel) alors que les engagements en action concernent les actions futures (par exemple : l'énoncé « demain, je ferai α » engage le locuteur envers ses interlocuteurs à réaliser l'action α).
- *Les engagements peuvent être directs ou conditionnels* : un engagement conditionnel est un engagement qui tient si certaines conditions sont remplies. Les engagements conditionnels sont à rapprocher de l'idée de règle, comme par exemple dans : « si tu fais α , je ferai β ». Cependant, les engagements conditionnels sont avant tout des engagements et il n'est pas nécessaire d'introduire une nouvelle primitive pour les engagements conditionnels, un simple connecteur suffit.
- *Les engagements sont dialogiques ou extra-dialogiques* : parmi les engagements pris au cours du dialogue, on distingue ceux qui concernent le dialogue en cours qui sont dit « dialogiques » de ceux qui se rapportent au contexte du dialogue (la tâche sous-jacente ou le sujet de dialogue). Par exemple, dans les cadres interactionnels conventionnels, lorsqu'une question est posée, l'interlocuteur est engagé à y répondre. Cet engagement dialogique, qui vise à assurer la cohérence structurale du dialogue et qui disparaîtra lorsque le dialogue sera terminé, ne doit pas être confondu avec l'engagement extra-

¹⁸ Aucun des formalismes rencontrés ne considère l'engagement conjoint de plusieurs agents envers plusieurs autres. Il s'agit d'une première simplification de modélisation.

¹⁹ Là encore, il s'agit d'une simplification de modélisation.

dialogique qui peut découler de la réponse donnée et qui sera généralement persistant au-delà du dialogue.

- *Les engagements sont posés explicitement ou implicitement* : les engagements posés explicitement résultent d'actes (de langage ici) alors que les engagements posés implicitement correspondent à des habitudes qui sont incarnées par les règles du cadre interactionnel que les agents sont tenus de respecter ainsi que les conventions et normes en cours dans le système considéré. Les engagements dialogiques sont un exemple d'engagements posés implicitement. La possibilité d'un méta-dialogue, c'est-à-dire d'un dialogue sur le dialogue (notamment sur sa structure), indique que ces engagements posés implicitement sont traités de manière explicite par les agents. On ne peut donc pas parler d'engagements implicites mais juste d'engagements posés implicitement.
- *Les engagements sont datés* : un engagement est pris à un moment donné et dans un contexte donné²⁰. En outre, dans les engagements en action, un des paramètres de l'action doit indiquer à quel moment l'action doit être effectuée (cette indication est donnée sous la forme d'un instant ou d'un intervalle selon le type de gestion temporelle utilisé dans le système considéré).
- *Les engagements sont ordonnés* : certains engagements en action doivent être satisfaits avant d'autres. C'est un moyen classique pour structurer le tableau de conversation (ou les agendas) qui les contient que de les ordonner.

5.4. Approches des communications agents basées sur les engagements sociaux

Ces approches ont en commun de reposer sur la notion d'engagement social pour capturer la dimension publique de la communication.

5.4.1. Le modèle d'agent social de Singh

Singh est le premier à identifier le besoin d'un modèle sémantique formel des ACLs en termes de « notions sociales » (Singh, 1998). Il propose sa propre sémantique sociale pour ACL (Singh, 2000) comme une partie de sa théorie des agents sociaux. Singh introduit une sémantique basée sur l'engagement social intégrée à une logique modale temporelle avec temps ramifié (CTL, *Computational Tree Logic*). En s'inspirant d'Habermas (1984), il définit trois niveaux de sémantique, qui correspondent à trois assertions valides pour chaque acte de langage :

- *Assertion objective* : la communication est vraie, c'est-à-dire que le locuteur s'engage sur son acte de langage. Par exemple, si le locuteur informe le groupe que p , alors il s'engage envers le groupe sur cette croyance.
- *Assertion subjective* : la communication est sincère. Par exemple, si le locuteur informe le groupe que p , alors il s'engage envers le groupe sur sa sincérité (supposée).
- *Assertion pratique* : la communication est justifiée. Par exemple, si le locuteur informe le groupe que p , alors il doit avoir des raisons de penser que p est vrai.

²⁰ Par souci de simplification, la notion de contexte n'a pas été prise en compte dans les formalismes rencontrés.

Singh encapsule donc l'approche mentaliste dans le niveau social. Il y a bien une différence entre le fait que le locuteur soit sincère (hypothèse de sincérité dans les approches intentionnelles) et dire qu'il est socialement engagé comme étant sincère. Par contre, cette sémantique sociale ne remplace en rien les protocoles classiques, car si elle permet de connaître *a posteriori* le résultat d'une composition de communication, elle n'indique pas quelle est la bonne composition à utiliser.

5.4.2. Approche par la logique modale de Colombetti

Colombetti explore l'idée d'états mentaux sociaux à l'aide de la logique modale. Il distingue différents mécanismes par lesquels les agents pourraient acquérir des croyances communes : déduction, information montrée, observation mutuelle, communication intentionnelle,...

Colombetti (2000) a récemment proposé le langage ALBATROSS (*Agent Language Based on the Treatment of Social Semantics*) qui — dans la même veine que les travaux de Singh — donne une sémantique (exprimée dans la logique temporelle CTL*) aux actes illocutoires courants. Une des particularités de ce langage est la notion de pré-engagement, qui est un type d'engagement conditionnel. Par exemple, une requête pré-engage l'interlocuteur à qui elle s'adresse, signifiant que si celui-ci accepte, il sera engagé à agir en conséquence.

5.5. Les systèmes dialectiques

De son étude des arguments formellement fallacieux, Hamblin (1970) déduit que certains arguments sont inadéquats sans être formellement non valides, c'est pourquoi la logique formelle n'est pas adaptée pour rendre compte de l'argumentation. C'est la naissance de la logique informelle (ou logique dialectique). Un système dialectique est un système normatif de régulation du dialogue²¹ considéré comme un jeu entre les participants. Un tel système est constitué de :

- *Un ensemble de coups* : idéalement, les différents coups ou locutions définies couvrent les différents types d'actes de langage. On trouve par exemple des coups pour l'assertion, la question, le défi,...
- *Une liste d'engagements par participant* : Hamblin suppose l'existence d'une liste d'engagements qui permet notamment de gérer la cohérence du dialogue. Pour autant, il faut qu'un joueur soit capable d'anticiper/détecter les inconsistances dans les listes d'engagements. Afin de ne pas doter les agents de capacités irréalistes (dans le genre du problème de l'omniscience) Hamblin isole un ensemble de schémas d'axiomes inconsistants.
- *Un ensemble de règles pour les coups* : les règles du système interdisent de jouer certains coups. Ces règles sont de la forme : Si conditions alors les actes linguistique X_1, \dots, X_n sont interdits. Les conditions pouvant faire référence au passé du dialogue.
- *Un ensemble de règles pour les engagements* : ces règles indiquent quel est l'impact des coups sur les listes d'engagements

²¹ Initialement, Hamblin ne traitait que les dialogues de persuasion.

Notons que les systèmes dialectiques ne traitent pas de la production des arguments, il ne font pas le lien entre les états mentaux de l'agent et son activité dialogique. La sous-section suivante présente brièvement un exemple de système dialectique.

5.5.1. Le système DC

Ce célèbre système dû à MacKenzie (1979) modélise les interactions de type argumentatives entre deux opposants qui soutiennent des thèses contradictoires. Plus précisément, le système DC a pour but de prévenir les esquives de questions comme dans le petit dialogue suivant :

- 1.A : *Je l'ai peint en rouge.*
- 2.B : *Pourquoi ?*
- 3.A : *Parce que je ne l'ai pas peint en bleu.*
- 4.B : *Pourquoi ?*
- 5.A : *Parce que je l'ai peint en rouge.*

Dans DC, cinq types de coups sont possibles : affirmation, retrait, question, défi et résolution. Deux types de règles sont définis : les règles de mise à jour et les règles de dialogue. Ces coups peuvent changer les engagements du locuteur mais aussi ceux de l'interlocuteur. C'est une gestion de l'acceptation implicite. Les interlocuteurs respectent alors le principe de coopération suivant : « Exprimer un désaccord de croyance dès que possible ».

5.5.2. Mouvement/glissement dialectique

En dialectique, il est admis que chaque type de dialogue doit disposer de son système dialectique (Walton et Krabbe, 1995). Or, l'analyse de conversation montre bien qu'un dialogue est rarement d'un seul et même type du début à la fin. Il est courant d'imbriquer des types de dialogues. On appelle ces changements de type de dialogue (et donc de contexte) au cours de celui-ci des *glissements dialectiques*. Pour que ces glissements soient constructifs, il faut qu'ils soient acceptés par tous les participants.

En conclusion de cette section, ajoutons que la dialectique formelle a permis le développement des jeux de dialogue. En effet, l'idée de système dialectique étendue à tous les types de dialogues est présente dans de nombreux domaines où elle est nommée *jeux de dialogues*. Les sections suivantes présentent les jeux de dialogues tels qu'envisagés spécifiquement pour les SMA.

5.5.3. Approche par la dialectique formelle de Amgoud *et al.*

Amgoud *et al.* (2000) ont défini des règles de dialogue et des règles de mise à jour des connaissances pour les différentes locutions de leur système. Dans ces travaux, directement inspirés par ceux de MacKenzie sur les systèmes dialectiques, les règles de dialogue indiquent les séquences de locutions autorisées (comme pour les protocoles) tandis que les règles de mise à jour capturent les effets de ceux-ci sur l'état du dialogue (représenté par les tableaux d'engagement des participants). Les locutions définies étendent celles de MacKenzie de sorte à couvrir tous les types de dialogues proposés par Walton et Krabbe (présentés en section 3.3).

5.5.4. Approche de Flores et Kremer

Récemment, Flores et Kremer ont également proposé une approche qui vise à définir les protocoles et la sémantique des actes de langage dans un modèle unifié basé sur la notion d'engagement social (Flores et Kremer, 2001 ; Flores, 2002). Comme dans les travaux d'Hamblin, les agents maintiennent un tableau des engagements partagés qui peuvent être ajoutés ou retranchés. Un unique protocole (appelé *Protocol for Proposal*) définit comment ces engagements sociaux peuvent être négociés. Dans le système de Flores et Kremer, tous les actes de dialogue (proposer, accepter, rejeter, contrer qui s'appliquent aux actions sur les engagements et informer pour transmettre un contenu propositionnel) sont produits conjointement *via* ce protocole, ce qui est une hypothèse forte, contraignante et discutable. Un agent peut par exemple, proposer d'ajouter un engagement social. Si sa proposition est acceptée, tous les agents conversant adoptent cet engagement. Ainsi, les actes de dialogue comme la proposition définissent des opérations génériques sur les tableaux d'engagement, qui peuvent s'instancier différemment, comme indiqué par le tableau 7. Par exemple, une demande est une proposition d'adopter un engagement social fourni par le locuteur, alors qu'une offre est une proposition par le locuteur d'adopter un des engagements sociaux de l'interlocuteur.

Tableau 7 — Sémantique des actes de dialogue dans le système de Flores et Kremer.

Énoncé	But illocutoire	Opération	Créditeur	Débiteur
Demande	Propose	Ajout	locuteur	interlocuteur
Offre	Propose	Ajout	interlocuteur	locuteur
Retire	Propose	Retrait	locuteur	interlocuteur
Annule	Propose	Retrait	interlocuteur	locuteur

5.6. Approches des protocoles basées sur les jeux de dialogue

Les jeux de dialogue formels sont des jeux dans lesquels les coups sont des locutions régies par des règles. L'idée de jeux de dialogue remonte à Aristote, elle fut successivement exploitée par Wittgenstein (dans un sens différent de celui donné ici) puis par Hamblin, père de la dialectique formelle (Hamblin, 1970). L'approche par les jeux de dialogue passe par la définition de systèmes dialectiques dont les desiderata, lorsqu'ils sont appliqués aux SMAs sont (adapté de Wooldridge *et al.*, 2002) :

- *L'inclusivité* : le système dialectique ne doit pas empêcher un agent de participer au dialogue s'il est qualifié et qu'il en a la volonté ;
- *La transparence* : les participants d'un dialogue doivent avoir une connaissance *a priori* des règles et de la structuration du système. En particulier, toutes les références du système dialectique vers la réalité extérieure doivent être explicites (principalement les engagements sociaux extra-dialogiques) ;
- *La justice* : le système doit traiter tous les participants de manière équivalente ou en cas d'asymétries (dues à la structure organisationnelle, aux rôles), elles devront être explicites ;

- *La clarté de la théorie dialectique sous-jacente* : le système dialectique devra être basé sur une théorie des conventions dialogiques partagée, de sorte que les obligations dialogiques soient connues et acceptées. Ainsi, les agents peuvent raisonnablement anticiper le comportement des autres (dans une fourchette définie par le jeu). Par exemple, un agent qui conteste une assertion doit savoir s'il va recevoir une défense de l'assertion ou pas,...

Historiquement, l'idée de jeux de dialogue s'est concrétisée sous différentes formes : scripts partagés de Levin et Moore (1978), recettes partagées de Mann (1988), réseaux de transition de Lewin (2000) et méta-règles de conversation de Airenti *et al.* (1993). On présente ici les approches les plus récentes proposées dans le cadre de la communication agent.

5.6.1. Approche de Reed

Reed (1998) a proposé la notion de cadre de dialogue comme structure d'échange abstraite. Ses travaux sont directement basés sur ceux des chercheurs en dialectique Walton et Krabbe (1995).

Structure — Un cadre de dialogue est formellement défini comme un quadruplet :

$$F = \langle \langle t, \Delta \rangle \in D, \tau \in \Delta, \{u_{x \rightarrow y}^0, \dots, u_{x \rightarrow y}^n\} \rangle, \text{ où :}$$

$$D = \langle \langle \text{persuade}, B \rangle, \langle \text{negociate}, C \rangle, \langle \text{inquire}, B \rangle, \langle \text{infoseek}, B \rangle, \langle \text{deliber}, P \rangle \rangle$$

D est l'ensemble des types de dialogue et de leurs notions associées (B pour les croyances, C pour les contrats et P pour les plans). τ est le sujet du dialogue et les u^n sont les énoncés qui peuvent être produits au $n^{\text{ième}}$ tour du dialogue. Les u^n définissent donc un protocole pour ce cadre de dialogues entre les agents x et y. Ce protocole peut être vide.

Établissement — Les structures proposées par Reed sont manipulées par deux méta-actes de communication : *propose/accept*. Ces énoncés ont pour but d'ouvrir les cadres de dialogues. Par exemple, l'énoncé suivant est bien formé et indique que x propose à y de négocier le prix de Zidane, avec 500 comme proposition initiale :

$$u_{x \rightarrow y}^0 = \langle \langle \text{propose}(\text{negociate}, \langle \text{buy}(y, \text{Zidane}), \{ \langle \text{price}, 500 \rangle \}), \{0\} \rangle \rangle$$

Les actes *concede* et *accept* ferment automatiquement le cadre.

Composition — Reed considère deux types de compositions : séquentielle et imbriquée, toutes deux capturées d'emblée par la structure définie ci-dessus. En effet, comme les propositions sont des coups comme les autres, elles peuvent être faites en cours de dialogue. Quand un nouveau cadre de dialogue est proposé au tour i et accepté au tour i+1, si aucun cadre n'est ouvert, c'est un séquençement sinon c'est une imbrication. Dans ce dernier cas, le cadre courant est simplement suspendu jusqu'à ce que le nouveau cadre soit terminé. C'est au concepteur de s'assurer que ses cadres termineront tout et de réguler les possibilités d'imbrication (qui doivent rester en nombre fini).

5.6.2. Approche de Dastani *et al.*

Dastani et ses collègues ont proposé une méthodologie pour la construction de protocoles de négociation flexibles (Dastani *et al.*, 2000). Bien qu'ils négocient, les agents partagent le but commun de coordonner leurs actions. Une représentation partielle des actions coordonnées sous la forme de recette est donnée et les jeux de dialogue en sont un type particulier. Les auteurs mettent également de l'avant la

notion de *cohérence*. Un dialogue est cohérent dans son contexte si : (1) il correspond à un plan qui peut permettre d'atteindre le but apparent d'un agent (2) il suit les règles d'interaction courantes. Selon les attitudes des agents et de celui qui a l'initiative, (1) ou (2) prend le dessus. Même si le travail effectué concerne la négociation, le cadre proposé est censé être suffisamment générique pour permettre d'autres types de dialogues orientés tâche.

Les énoncés sont formés d'actes de dialogue qui sont composés d'un contenu sémantique et d'une fonction communicative. Un enregistrement conversationnel garde trace des actes de dialogue et des engagements associés qui circulent (représentation du contexte). La fonction communicationnelle est liée à la tâche sous-jacente et/ou à la régulation de l'interaction. La cohérence tient donc autant à la cohérence au niveau de la tâche qu'à celle du niveau interactionnel. Dans leur système, la cohérence orientée tâche est assurée par l'inférence de plans alors que celle du niveau interactionnel repose sur des recettes pré-planifiées pour l'action communicative commune telles que présentées par Hulstijn (2000).

Structure — Un acte de dialogue est soit initiatif, soit réactif et la structure de base des jeux développés est une unité initiation/réaction. Cependant, les échanges sont régulés par des conditions de cohérence sur le contenu sémantique.

Composition — Les jeux peuvent être composés de manière statique (au moment de leur conception) ou dynamique par séquençement ou chaînage.

Établissement — Bien que l'utilité d'une phase de négociation du jeu courant soit mentionnée, aucune indication n'est fournie sur ce point.

5.6.3. Approche de McBurney et Parsons

McBurney et Parson (2000) ont récemment proposé une autre approche utilisant explicitement des structures de jeux ayant pour ambition de représenter les types de dialogues proposés par Walton et Krabbe (voir section 3.3) ainsi que certains méta-dialogues. Pour ce faire, ils proposent un modèle en trois couches : (1) une couche de sujet (topique) qui définit quels sont les sujets possibles du dialogue, (2) une couche de dialogue et (3) une couche de contrôle.

Structure — Les jeux de dialogue sont définis dans la couche de dialogue et consistent en un système dialectique traditionnel composé de : (1) règles d'ouverture, (2) règles de locution, (3) règles de dialogue, (4) règles de mise à jour et (5) règles de terminaison.

Établissement — C'est la couche de contrôle qui assure l'acceptation *via* un méta-dialogue de contrôle auquel on suppose que les agents sont prêts à participer. Ce méta-dialogue de contrôle permet aux agents de décider conjointement des jeux de dialogue à jouer. Pour ce faire, des coups de méta-niveau sont définis ($\text{begin}(G(p)), \text{end}(G(p))$) et un coup spécial ($\text{propose.return.control}$) permet aux agents de remonter au niveau contrôle alors qu'ils jouent un jeu de dialogue, assurant ainsi la liaison entre les deux couches.

Composition — C'est aussi la couche de contrôle qui permet la composition des jeux. Différents types de composition sont permis :

- *Itération* G^n : répétition de n dialogues du type G , chacun des jeux débutant après la fermeture du précédent ;
- *Séquence* $G ; H$: H débute après la fermeture de G ;

- *Emboîtement* $G[H : I]$: H débute pendant G après la séquence de coups I ;
- *Parallélisation* $G \cup H$: G et H débutent simultanément ;
- *Test* $\langle p \rangle : \langle p \rangle$ est un dialogue de contrôle pour tester le statut de vérité de p. Le dialogue courant termine si p s'avère faux.

On note que la parallélisation est un mode de composition original, qui n'est pas présent dans la littérature classique, mais peut s'avérer utile pour la communication agent. En outre, et contrairement à la version de Reed, l'emboîtement ne suspend pas le jeu emboîtant.

5.6.4. Approche de Maudet et Chaib-draa

Le modèle de Maudet adapté aux systèmes multi-agents avec l'aide de Chaib-draa, Labrie et Pasquier DIAGAL (*Dialogue Game based Agent communication Language*) se base sur la distinction entre jeux de dialogue et jeux de communication. Un des jeux de communication, le jeu de contextualisation, joue le rôle de la couche de contrôle du modèle de McBurney et Parson (présenté en sous-section 5.6.3) (Maudet et Chaib-draa, 2001).

Structure — Les jeux sont des structures bilatérales, définies par leurs conditions d'entrée (qui doivent être remplies pour qu'un jeu puisse être ouvert), leurs conditions de sortie (qui définissent le but des conversants en entrant dans le jeu) et des règles de dialogue. Toutes ces notions sont définies en termes d'engagements (éventuellement conditionnels), ce qui fait du modèle une approche stricte par les engagements à comparer à celle de Flores et Kremer (présentée dans la sous-section 5.5.4).

Composition — Deux types de compositions sont considérées :

le pré-séquencement : il y a pré-séquencement lorsqu'un jeu est ouvert alors qu'un autre est proposé. Le pré-séquencement sert essentiellement à établir les conditions d'entrée dans le jeu pré-séquencé ;

l'emboîtement : un jeu j_1 est emboîté dans un autre j_2 s'il est ouvert alors que j_2 est déjà ouvert. Ainsi, les emboîtements sont gérés *via* une pile de jeux ouverts. Les engagements du jeu courant sont prioritaires sur les engagements des autres jeux.

Établissement — L'acceptation est prise en charge *via* le jeu de contextualisation qui définit les coups en termes d'engagements : la proposition d'entrer dans le jeu, ($\text{prop.in}(x,j)$), propose le jeu et engage le partenaire à accepter, refuser ou proposer un pré-séquencement), celle d'en sortir (qui doit être partagée ; ce qui est une hypothèse forte et discutable). À chaque coup dans un jeu de dialogue, correspond un coup de continuation dans le jeu de contextualisation et un jeu peut être imbriqué à tout moment par simple proposition dans le jeu de contextualisation.

5.7. Avantages des approches conventionnelles et sociales

5.7.1. Avantages des approches conventionnelles

Parmi les avantages des approches conventionnelles sur lesquels il est bon d'insister, car ils sont pour une bonne part de l'intérêt porté à ces approches par la communauté SMA, il faut relever que les approches conventionnelles résolvent le problème de l'hypothèse de sincérité et le problème de vérification sémantique qui étaient attachés aux approches intentionnelles. C'est une double conséquence

inhérente à l'utilisation d'engagements sociaux. Le problème de l'hypothèse de sincérité est résolu puisque les engagements ne sont pas nécessairement sincères. Par contre, un engagement doit être tenu et s'il ne l'est pas son créateur s'expose à des sanctions sociales ou matérielles. En cela, les engagements sont des attitudes sociales indépendantes mais pas indifférentes des spécificités internes aux agents. Le traitement des aspects sociaux du dialogue en est simplifié. Quant au problème de la vérification, il est théoriquement résolu grâce au caractère public des engagements qui les rend accessibles à tous, en particulier pour vérification. En outre, les approches conventionnelles parviennent, grâce à la notion d'engagement, à éviter toute spécification mentaliste dans la sémantique des langages de communication utilisés. Ainsi, les agents n'ont plus nécessairement à implémenter les attitudes mentales qui sont attachées aux sémantiques mentalistes. Cela permet d'envisager de faire communiquer des agents hétérogènes, d'architectures internes variées. Il suffit que tous partagent le même modèle de l'engagement social.

5.7.2. Aspects positifs spécifiques aux jeux de dialogue

Même s'il reste du travail de formalisation, d'implémentation et de validation, les approches par jeux de dialogue semblent être une avenue prometteuse pour pallier la rigidité des protocoles traditionnels. En effet, ces approches adoptent un formalisme plus flexible que les automates à états finis : l'utilisation des engagements garde une trace plus riche du dialogue que le simple dernier coup considéré dans les protocoles traditionnels. Ces derniers contraignent les agents à se conformer aux transitions attendues alors que les engagements motivent les agents à se conformer à un comportement attendu. Les approches par engagements sont donc capables de considérer les messages inattendus ou exceptionnels mieux que les protocoles classiques. En outre, et même si de nombreuses clarifications seraient nécessaires de ce côté, les jeux de dialogue peuvent être composés. Sous l'impulsion de Reed, des méta-actes (jeux de contextualisation, couche de contrôle, ...) ont été définis pour négocier et établir le jeu de dialogue courant.

En outre, l'approche par les jeux de dialogue est déclarative (les règles sont explicitées) : cela accroît leur clarté et rend possible leur définition dans un langage explicite comme XML (comme c'est le cas par exemple dans le simulateur de jeux de dialogue développé avec Chaib-draa et ses collègues : voir Chaib-draa *et al.*, 2002).

Comme le signale Maudet (2001), les jeux sont utiles au niveau du dialogue aussi bien dans les phases d'interprétation que dans les phases de production. De plus, ils sont une contribution intéressante pour ce qui est de la structuration du dialogue. La structure locale est donnée par la structure intra-jeu (ou par les obligations langagières correspondantes). La structuration globale est donnée par la structure inter-jeux. Mais, le niveau jeu est-il réellement nécessaire ? Qu'est-ce que la notion de jeu apporte de plus qu'un modèle intentionnel augmenté d'obligations ? En guise de réponse à ces questions, Maudet indique que :

1. Les jeux sont empiriquement fondés, comme le montrent les expériences menées sur les annotations de dialogues (Kowtko *et al.*, 1991) ;
2. Les jeux sont des structures prédictives : Poesio (Poesio et Mikheev, 1998) montre que sur le corpus de MPTASK les prédictions sont de 50 % avec les jeux contre 38 % si l'on considère uniquement le coup (l'énoncé) précédent ;

3. Les jeux raffinent et concrétisent la notion de coopération dialogique. Ils réalisent concrètement les notions d'établissement (*grounding*) et de projet conjoint discutées en sections 3.2 et 5.1.2.

Ce dernier point mérite d'être raffiné. En effet, les approches par jeux de dialogues permettent de garantir l'établissement du fond commun et ce de manière particulièrement complète. Dans le cadre DIAGAL, par exemple, chaque jeu de dialogue permet la négociation et l'établissement (présentation et acceptation, ou refus) d'une modification de la couche sociale des engagements (réifiée dans les agendas des agents conversant). En outre, le jeu de contextualisation permet de garantir l'établissement de chacun des jeux de dialogue et de leurs structurations. Ainsi dans ce cadre de dialogue l'hypothèse de connectivité des agents qui stipule que l'on considère comme acquis que chacun des messages envoyés est reçu correctement par son destinataire n'est plus nécessaire. Chacun des agents sait ce qu'il doit attendre de l'autre et un simple système de *deadline* permet de détecter automatiquement toute rupture de communication. Cette hypothèse de connectivité était nécessaire au sein des approches basées sur la théorie des actes de langage dont le caractère monologique négligeait cet aspect. C'est ce qui justifiait par exemple l'imposante couche communicationnelle du cadre modèle FIPA au-dessus de laquelle la connectivité était assurée de sorte à permettre l'utilisation de FIPA-ACL. Ces aspects de connectivité sont désormais partie intégrante des langages agents vus comme jeux de dialogues. Au niveau proprement dialogique, ils permettent de capturer le niveau attentionnel du dialogue (voir les niveaux de dialogue, section 3.2). Ainsi, un agent peut refuser d'entrer dans un jeu de requête (ce qui est différent que de refuser la requête elle-même) soit parce qu'il n'est pas disposé à dialoguer ou encore parce que ses ressources sont déjà engagées ailleurs.

5.8. Limites des approches conventionnelles et sociales

5.8.1. Limitations des approches par engagement

On peut s'étonner du peu de concepts communs aux approches intentionnelles et aux approches conventionnelles. En fait, en introduisant une couche publique *via* les engagements, normes et conventions (qui se déclinent en obligations, permissions, interdictions), les approches conventionnelles séparent bien le niveau public du niveau privé, mais au prix d'une perte de complétude. En effet, l'introduction d'un niveau public ne dispense pas de la définition d'un niveau privé et il reste alors à articuler ces deux niveaux. Il s'agit donc de définir un système de gestion du niveau public cohérent sur lequel les agents savent raisonner.

En outre, de nombreuses notions connexes aux engagements méritent d'être approfondies, il s'agit de :

- Clarifier la notion d'engagement : si différents modèles d'engagements ont été proposés, la vérification de la satisfaction des engagements n'a pas été clairement définie ;
- Définir un ou des systèmes de sanctions : pour assurer un certain contrôle social dans des systèmes ouverts, des sanctions matérielles ou sociales peuvent être associées au non-respect ou à l'annulation des engagements sociaux posés ;

5.8.2. Limitations des approches par les jeux de dialogue

L'approche par les jeux de dialogue nous semble, de par sa simplicité, la plus prometteuse des approches conventionnelles. Cependant, ses développements multi-agents sont récents et donc encore incomplets. Parmi les éléments qui restent à définir pour en faire un cadre interactionnel complet, on note les besoins suivants :

- Régler les problèmes d'implémentation : implantation distribuée du gestionnaire de dialogue et des agendas (dans un cadre multi-agents). À ce sujet, le cadre DIAGAL et le simulateur de jeux de dialogue du laboratoire DAMAS semble le plus avancé ;
- Étendre les cadres existants (dilogiques) aux conversations multi-parties (plus de deux interlocuteurs) : ce besoin n'a été abordé dans la littérature que très récemment (Dignum et Vreeswick, 2003) ;
- Identifier la complexité informatique nécessaire pour de tels systèmes et optimiser les jeux de dialogue, par exemple en identifiant les chemins inutiles qui peuvent être éliminés sans préjudice sémantique (en termes d'engagements) ;
- Valider les approches sur des exemples réels, d'envergure.

Il reste, en outre, un certain nombre de points non expliqués par les approches conventionnelles en général. En effet, ces approches se concentrent sur les aspects externes - sociaux - de la communication sans définir comment ces derniers seront pris en charge par les agents cognitifs tels qu'ils sont définis actuellement. C'est-à-dire que rien n'est dit sur la manière dont les agents devraient utiliser ces langages et structures afin de gérer leurs engagements d'une manière utile à leurs objectifs individuels et collectifs. Maudet (2001) indique simplement que les agents devront être normatifs et délibératifs. Normatifs pour suivre les règles de dialogue, se conformer aux jeux de dialogue et agir en fonction de leurs engagements et délibératifs pour prendre en compte leurs propres besoins/intentions. Reste donc à savoir comment ces différents niveaux - privé et public - peuvent être combinés.

6. Conclusion et perspectives

Dans cet état de l'art, nous avons délimité, grâce à une revue de la littérature fournie, un certain nombre de problématiques concernant les conversations entre agents. Ces problématiques se déploient selon quatre dimensions pertinentes dans l'étude de la communication inter-agent qui correspondent à quatre facettes générales de l'étude du langage : syntaxe, structure, sémantique et pragmatique. Pour ce qui est de la syntaxe des énoncés, les ACLs fournissent un bon outil puisqu'ils ont la puissance expressive suffisante pour rendre compte de tous les énoncés. Ce résultat découle du fait qu'ils sont l'application de la théorie des actes de langage qui couvre l'ensemble des énoncés en langage naturel²².

Au niveau structurel, une alternative semble émerger entre les approches strictement cognitives comme les approches intentionnelles ou les approches strictement sociales comme celles basées sur les engagements qui ne spécifient rien de la structure (vue comme émergeant des enchaînements des énoncés des agents) et

²² En réalité, ce résultat n'est que potentiel, car les ACLs développés pour l'heure ne couvrent pas tous les types d'actes de langage définis dans la théorie.

les approches par protocoles qui réduisent l'espace de recherche des continuations possibles au strict minimum, mais font perdre souplesse et adaptativité aux conversations. Cette alternative est proposée par les jeux de dialogue.

Pour ce qui est de la sémantique des unités conversationnelles, la communauté scientifique spécifiquement multi-agent s'est déplacée d'une sémantique mentaliste vers une sémantique sociale exprimée en termes d'engagements permettant de résoudre le problème de la vérifiabilité, lever l'hypothèse de sincérité et faciliter le traitement des aspects sociaux de la communication. Il reste cependant de nombreux débats pour savoir à quel niveau on place la sémantique (au niveau de l'énoncé ou au niveau de la conversation) et déterminer quelle forme peut prendre cette sémantique²³.

Concernant la pragmatique, ces déplacements n'invalident sans doute pas complètement la pragmatique Gricéenne et les considérations sur la coopération restent valables, mais l'introduction de la couche publique des engagements mérite que celle-ci soit ré-examinée. Dans les approches sociales et conventionnelles, les concepts de base fournissant la pragmatique des approches intentionnelles sont complétés d'une couche sociale constituée d'engagements et de la couche conventionnelle (constituée de jeux de dialogues, par exemple). L'introduction de ce niveau social et public nécessite de repenser une pragmatique étendue à ce cadre plus général.

Effectivement, selon ces approches sociales, l'agent ne doit plus raisonner directement sur les intentions (communicationnelles ou pas) des autres, mais sur les engagements pris et à prendre. Ces engagements sont autant les engagements issus des conventions liées au système, ceux attachés aux rôles des agents, que ceux issus des conversations avec d'autres agents. Ainsi, trop occupée à définir un cadre interactionnel standard, la communauté SMA a quelque peu délaissé les aspects cognitifs liés à la pragmatique des communications²⁴, laissant ainsi au concepteur la majeure partie du travail quand vient le moment d'indiquer comment les agents vont utiliser le cadre interactionnel sélectionné. En conséquence, un objectif principal pour cette communauté, sera de fournir une pragmatique, au sens d'une théorie de l'usage, qui soit adaptée aux cadres interactionnels pour agents que proposent les approches sociales et conventionnelles, en particulier les jeux de dialogue.

En effet, si de nombreux travaux se sont préoccupés de définir des langages de communication agents, peu se sont concentrés sur les aspects cognitifs de la communication agent, c'est-à-dire sur les procédés par lesquels les agents vont utiliser dynamiquement et automatiquement ces langages de communication. En effet, si on suppose la souplesse et la cohérence structurale des dialogues engagés garanties par les contraintes fournies par le cadre interactionnel conventionnel, un certain nombre de problèmes subsistent :

²³ Soulignons au passage l'ambiguïté qui réside entre sémantique linguistique et sémantique mathématique.

²⁴ Le même manque se retrouve du côté des fondements philosophiques. En effet, comme l'indique Marconi (1997) dans son récent ouvrage consacré à la philosophie du langage au XX^{ième} siècle, les philosophes du langage ont explicitement exclu les aspects cognitifs de la pragmatique de leur champ d'investigation, laissant à la psychologie sociale et cognitive le soin de les étudier.

- *Les problèmes liés à la gestion de la dynamique du dialogue* : Quand et quoi communiquer, à qui et pourquoi ? Comment choisir un interlocuteur ? Quel type de dialogue tenir ? À quel sujet ? Dans quel espoir ? Au sein d'un dialogue, comment sélectionner parmi les continuations possibles ? Comment choisir les degrés d'intensité des actes de langage utilisés ? Comment et pourquoi composer différents types de dialogues ?
- *Les problèmes liés à l'indépendance des modèles cognitifs des agents et des cadres interactionnels pour la communication entre agents* : Comment garantir l'alignement de la satisfaction des aspects conventionnels des conversations, dictés par le cadre interactionnel, avec les aspects cognitifs des agents dialoguant ?
- *Le problème original de la mesure de l'utilité du dialogue* : Quelle est l'utilité du dialogue pour un agent ? Quelle est l'utilité de la conversation pour le groupe d'agents impliqués ? Les agents sont-ils satisfaits d'une conversation ?
- *Les problèmes liés à la gestion des conséquences sociales et cognitives des communications entre agents* : Quels sont les impacts des communications sur les agents au niveau cognitif de leurs états mentaux comme au niveau social de leurs accointances ?

En effet, la pragmatique des cadres interactionnels des SMAs est un aspect souvent négligé. Soulignons que ce n'est pas complètement un hasard puisque cet aspect est réputé difficile, et ce, dans tous les domaines d'étude de la communication (linguistique, philosophie du langage, théories de la communication, intelligence artificielle,...). « Le besoin d'une véritable théorie du langage comme moyen d'expression se fait sentir » (Lienard, 1991). C'est en fait, une théorie de l'utilisation de ce système d'action qu'est le langage qui est à produire.

Références bibliographiques

- Airenti G., Bara B., Colombetti M. (1993). Conversation and behaviour games in the pragmatics of dialogue. *Cognitive science*. Vol. 17(7), 34-49.
- Allen J. F., Perrault C. R. (1980). Analysing intention in dialogues. *Artificial Intelligence*, Vol. 15(3). 23-46.
- Allen J. F., Schubert L. K., Ferguson G., Heeman P., Hwang C. H., Kato T., Light M., Martin N., Miller B., Poesio M., Traum D. R. (1995). The TRAINS project: A case study in building a conversational planning agent. *Journal of Experimental and Theoretical AI*, Vol. 7(4). 7-48.
- Allwood J. (1994). Obligations and options in dialogue. *Think Quarterly*, Vol. 3(1), 9-18.
- Allwood J. (1976). *Linguistic communication as action and cooperation*. PhD thesis, University of Goteborg, Sweden.
- Amgoud L., Maudet N., Parson S. (2000). Modelling dialogue using argumentation. In *Proceedings of the 4th international conference on multi-agent systems (ICMAS'00)*.
- Austin J. L. (1962). *How to Do Things With Words*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Bach K., Harnish R. M. (1979). *Linguistic Communication and Speech Acts*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Balkanski C., Hurault-Plantet M. (2000). Cooperative requests and replies in a collaborative dialogue model. *Int. J. Human-Computer Studies*, Vol. 53, 915-968.

- Bell J. (1995). Changing attitudes. In Wooldridge M., Jennings N. R. (éd.), *Intelligent Agents: Theories, Architectures, and Languages (LNAI Volume 890)*. Berlin: Springer. 40-55.
- Brassac C. (1994). Speech act and conversation sequencing. *Pragmatics and cognition*, Vol. 2(1), 191-205.
- Bratman M. E. (1987). *Intentions, Plans, and Practical Reason*. Cambridge, MA.: Harvard University Press.
- Bratman M. E. (1990). What is intention? In Cohen P. R., Morgan J. L., Pollack M. E. (éd.), *Intentions in Communication*. Cambridge, MA.: The MIT Press. 15-32.
- Bruce B. (1975). Generation as social action. *Theoretical issues in Natural Language Processing*, Vol. 1. 64-67.
- Bunt H. (1996). *The Structure of Multimodal Dialogue*, chapter Dynamic Interpretation and Dialogue Theory. Amsterdam: John Benjamin.
- Bylander E. (1991). Complexity results for planning. In *Proceedings of the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Sydney, Australia. 274-279.
- Carberry S. (1990). *Plan Recognition in Natural Language Dialogue*. Cambridge, MA.: The MIT Press.
- Castelfranchi C. (1995). Commitments: from individual intentions to groups and organizations. In *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*, San Francisco, CA. 41-48.
- Chaib-draa B., Vanderveken D. (1998). Agent communication language: Towards a semantics based on success, satisfaction, and recursion. In *ATAL98*, Paris.
- Chaib-draa B., Vongkasem L.. (2000). ACL as a joint project between participants: A preliminary report. In Dignum F., Greaves M. (éd.), *Issues in Agent Communication*, number 1916 in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Berlin: Springer. 235-248.
- Chaib-draa B., Maudet N., Labrie M. (2002). Request for action reconsidered as dialogue game based on commitments. In *Workshop on Agent Communication Language (AAMAS '02)*.
- Chicoisne G. (2002). *Dialogue entre agents naturels et agents artificiel : une application aux communautés virtuelles*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France.
- Clark H. H. (1996). *Using Language*. Cambridge, UK.: Cambridge University Press.
- Clark H. H., Schaeffer E. F. (1987). Collaborating on contributions to conversations. *Language and Cognitive Processes*, Vol. 2, 19-41.
- Clark H. H., Wilkes-Gibbs D. (1986). Referring as a collaborative process. *Cognition*, Vol. 1(22), 1-35.
- Cohen P. R. (1996). *Survey of the State of Art in Natural Language Technology*, chapter Discourse and Dialogue. Universitat des Saarlandes. 234-241.
- Cohen P. R., Levesque H. J. (1990a). Intention is choice with commitment. *Artificial Intelligence*, Vol. 42, 213-261.
- Cohen P. R., Levesque H. J. (1990b). Performatives in a rationally based speech act theory. In *28th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Pittsburg. Berlin: Springer. 79-88.
- Cohen P. R., Levesque H. J. (1990c). Rational interaction as the basis for communication. In Cohen P. R., Morgan J., Pollack M. E. (éd.), *Intentions in Communication*. Cambridge, MA.: The MIT Press. 221-256.

- Cohen P. R., Levesque H. J. (1991). Teamwork. Technote 504, SRI International, Menlo Park, CA.
- Cohen P. R., Perrault C. R. (1979). Elements of a plan based theory of speech acts. *Cognitive Science*, Vol. 3.177-212.
- Colombetti M. (1998). Different ways to have something in common. In Christiansen H., Andreasen T., Larsen H. L. (éd.), *Proceedings of the third international conference on flexible query answering systems*. Berlin: Springer. 95-109.
- Colombetti M. (2000). Commitment-based semantic for agent communication languages. In *1st Workshop on the History and Philosophy of Logic, Mathematics and Computation*.
- Craig R. (1993). Why are there so many communication theories? *Journal of Communication*, Vol. 43, 26-33.
- Craig R., Tracy K. (1983) *Conversational Coherence: Form, Structure, and Strategy*. Sage Publications.
- Dastani M., Hulstijn J., Van der Torre L. (2000). Negotiation protocols and dialogue games. In *Proceedings of the Belgium/Dutch AI Conference (BNAIC'2000)*, Kaatsheuvel.
- Dignum F. (2000). Issues in agent communication: An introduction. In Dignum F., Greaves M. (éd.), *Issues in Agent Communication*, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin: Springer. 1-16.
- Dignum F., Vreeswick G. (2003). Toward a test bed for multi-party dialogue. In Dignum F., Huet M.P. (éd.), *AAMAS'03 Agent Communication Languages and Conversation Policies Workshop*, 56-66.
- Elio R., Haddadi A., Singh A. (2000). Task models, intentions and agent conversation policies. In *Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*. Berlin: Springer. 394-403.
- Ferguson G. (1995). *Knowledge Representation and Reasoning for Mixed-Initiative Planning*. Tr-562, University of Rochester, Department of Computer Sciences.
- Fikes R., Nilsson N. (1971). Strips: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. *Artificial Intelligence*, Vol. 2, 189-208.
- Finin T., Labrou Y. (1998). Semantics for an Agent Communication Language. In *Intelligent Agents IV: Agent Theories, Architectures, and Languages*. LNCS 1365, Berlin: Springer. 209-214.
- Finin T., Labrou Y., Peng Y. (1999). Agent communication languages: The current landscape. *IEEE Intelligent Systems*, 45-52.
- Flores R. (2002). *Modelling Agent conversations for Actions*. PhD thesis, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
- Flores R., Kremer R. (2001). Bringing coherence to agent conversation. In Wooldridge M., Ciancarini P., Weiss G. (éd.), *Agent-Oriented Software Engineering II*, Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer. 50-67.
- Grice H. P. (1957). Meaning. *Philosophical review*, Vol. 66, 377-388.
- Grice H. (1969). Utterer's meaning and intentions. *Philosophical Review*, Vol. 78, 147-177.
- Grice H. P. (1975). *Syntax and Semantics: Speech acts*, volume 3, chapter Logic and Conversation. Academic Press.
- Grosz B. J., Kraus S. (1996). Collaborative plans for complex group action. *Artificial Intelligence*, Vol. 86, 269-357.
- Grosz B. J., Sidner C. L. (1986). Attention, intentions and the structure of discourse. *Computational Linguistics*, Vol. 12, 175-204.

- Grosz B. J., Sidner C. L. (1990). Plans for discourse. In Cohen P. R., Morgan J., Pollack M. E. (éd.), *Intentions in Communication*. Cambridge, MA.: The MIT Press. 417-444.
- Habermas J. (1984). *The Theory of Communicative Action*. Cambridge, UK.: Polity Press.
- Hamblin C. (1970). *Fallacies*. London, UK: Methuen.
- Huget M.-P. (2001). *Une ingénierie des protocoles d'interaction pour les systèmes multiagents*. PhD thesis, Université Paris IX, Paris, France.
- Hulstijn J. (2000). Dialogue games are recipe for joint action. In *Proceedings of the 4th workshop on the semantics and pragmatics of dialogue (GOTALOG'00)*.
- Kone M., Shimazu A., Nakajima T. (2000). The state of the art in agent communication languages. *Knowledge and Information Systems*, Vol. 2, 259-284.
- Kowtko J., Isard S., Doherty G. (1991). Conversational games within dialogue. In *Proceedings of the Esprit Workshop on Discourse Coherence*.
- Labrou Y. (1996). *Semantics for an Agent Communication Language*. PhD thesis, Computer Science and Electrical Engineering Department, University of Maryland, Baltimore.
- Lambert L., Carberry S. (1991). A tripartite plan-based model of dialogue. In *Proceedings of the 29th annual meeting of ACL*, 47-54.
- Lemeunier T. (2000) *L'intentionnalité communicative dans le dialogue homme-machine en langue naturelle*, PhD thesis, Université du Maine.
- Lemeunier T. (2003) De la Modélisation de l'activité conversationnelle des systèmes de dialogue personne-machine, In *Cognito : cahiers romans de sciences cognitives*, Vol. 1(2), 23-52.
- Levin J.A., Moore J.A. (1978) Dialogue-games : Metacommunication structures for natural language understanding. *Cognitive Science*, Vol. 1(4), 384-420.
- Levinson S.C. (1979). Activity type and language. *Linguistics*, Vol. 17, 365-399.
- Levinson S.C. (1983). *Pragmatics*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Lewin I. (2000). A formal model of conversation games theory. In *Proceedings of the 4th workshop on the semantics and pragmatics of dialogue (GOTALOG'00)*.
- Lienard J. S. (1991) Communication Homme Machine; Rapport sur la Définition, l'état de l'art et les Perspectives Scientifiques, Rapport du Comité d'Objectif Scientifique et Technique (COST), LIMSI, SPI-CNRS.
- Lin F., Norrie D., Shen W., Kremer R. (1999). A shema-based approach to specifying conversation policies. In Greaves M., Bradshaw M. (éd.), *Workshop on Specifying and Implementing conversation Policies*.
- Litman D., Allen J. (1990). *Intentions in communication*, chapter Discourse Processing and Common Sens Plans. Cambridge, MA.: MIT Press. 365-388.
- Littlejohn S. (1992). *Theories of Human Communication*. Waldsworth Publishing Company.
- Lochbaum K. E. (1994). *Using Collaborative Plans to Model the Intentional Structure of Discourse*. PhD thesis, Harvard University, Cambridge, MA.
- MacKenzie J. (1979). Question-begging in non-cumulative systems. *Journal of philosophical logic*, Vol. 8, 117-133.
- Mann W. (1988). Dialogues games : conventions of human interaction. *Argumentation*, 4(2), 511-532.
- Marconi D. (1997) *La philosophie du langage au XX^{ème} siècle*, Éditions de l'éclat.

- Maudet N. (2001). *Modéliser les Conventions des Interactions Langagières : la Contribution des Jeux de Dialogue*. PhD thesis, ENSEIHT-UPS.
- Maudet N., Chaib-draa B. (2001). Commitment-based and dialogue-game based protocols - new trends in agent communication language. *Knowledge Engineering Review*, Vol. 17(2), 157-179.
- McBurney P., Parson S. (2000). Agent ludens: games for agent dialogues. In *Proceedings of the Workshop on Game Theoretic and Decision Theoretic agents*.
- Moore R.C. (1990). A formal theory of knowledge and action. In Allen J.F., Hendler J., Tate A. (éd.), *Readings in Planning*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers. 480-519.
- Moulin B. (1997). *Agent and Multi-agent Systems*, chapter The social dimension of interactions in multi-agent systems. LNAI 1441. Springer: Berlin.
- Nuyts J. (1994). The intentional and socio-cultural in language use. *Pragmatics and Cognition*, Vol. 2(2), 237-268.
- Pasquier P. (2001). Communication entre agents. Rapport de synthèse, Laboratoire DAMAS, Université Laval, Québec, Canada.
- Philips L., Link H. (1999). The role of conversation policy in carrying out agents conversations. In Greaves M., Bradshaw M. (éd.), *Workshop on Specifying and Implementing Conversation Policies*.
- Poesio M., Mikheev A. (1998). The predictive power of game structure in dialogue act recognition: Experimental results using maximum entropy estimation. In *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP'98)*, Sydney, Australia.
- Pollack M.E. (1990). Plans as complex mental attitudes. In Cohen P. R., Morgan J., Pollack M. E. (éd.), *Intentions in Communication*. Cambridge, MA: The MIT Press. 77-104.
- Ramshaw L. (1989). A meta-plan model for problem solving discourse. In *Proceedings of the 4th Conference of the European Chapter of ACL*, 35-42.
- Rao A.S., Georgeff M.P. (1991). Modeling rational agents within a BDI-architecture. In Fikes R., Sandewall E. (éd.), *Proceedings of Knowledge Representation and Reasoning (KR&R-91)*: San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers. 473-484.
- Rao A.S., Georgeff M. (1995). BDI Agents: from theory to practice. In *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*, San Francisco, CA. 312-319.
- Reed C. (1998). Dialogue frames in agent communication. In *Proceedings of the Third International Conference on MultiAgent Systems (ICMAS)*.
- Sadek D. (1991a). *Attitudes mentales et interaction rationnelle : vers une théorie formelle de la communication*. PhD thesis, Université de Rennes 1, France.
- Sadek M. (1991b). Dialogue acts are rational plans. In *Proceedings of the ESCA/ETRW Workshop on the Structure of Multimodal Dialogue*, Maratea, Italy. 1-29.
- Sadek D., Bretier P., Panaget F. (1997). ARTIMIS: Natural dialogue meets rational agency. In *Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-97)*, Yokohama, Japan.
- Searle J. R. (1969). *Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Searle J. R. (1979). *Expression and Meaning*. Cambridge University Press.
- Searle J. R. (1983). *Intentionality: An Essay in the Philosophy of Mind*. Cambridge University Press.

- Searle J. R. (1990). Collective intentions and actions. In Cohen P. R., Morgan J., Pollack M. E. (éd.), *Intentions in Communication*. Cambridge, MA: The MIT Press. 401-416.
- Searle J. R. (1992a). *La Redécouverte de l'Esprit*. NRF Essais. Paris : Gallimard.
- Searle J. R. (1992b). (On) *Searle on Conversation*, chapter Conversation. Philadelphia: Benjamins Pub. 7-29.
- Searle J. R., Vanderveken D. (1985). *Foundations of Illocutionary Logic*. Cambridge University Press.
- Shannon C. E., Weaver C. (1975). *Théorie mathématique de la communication*, traduit de l'anglais par Cosnier, Dahan et Economides. Retz CEPL.
- Singh M. P. (1994). *Multiagent Systems: A Theoretical Framework for Intentions, Know-How, and Communications*, LNAI Vol. 799. Berlin: Springer.
- Singh M. P. (1998). Agent communication languages: rethinking the principles. *IEEE Computer*, Vol. 12(31), 40-47.
- Singh M. (2000). A social semantics for agent communication languages. In Dignum F., Greaves M. (éd.), *Issues in Agent Communication*. Berlin: Springer. 31-45.
- Singh M., Rao S., Georgeff M. (1999). *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter Formal Methods in DAI: Logic-Based Representation and Reasoning. Cambridge, MA: The MIT Press. 331-376.
- Smith R. W., Hipp D. R., Biermann A. W. (1995). An architecture for voice dialogue systems based on Prolog-style theorem proving. *Computational Linguistics*, Vol. 21, 281-320.
- Sperber D., Wilson D. (1986). *Relevance*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Traum D. (1994). Discourse obligations in dialogue processing. In *Proceedings of ACL'94*.
- Traum D. R. (1997). A reactive-deliberative model of dialogue agency. In Müller J.-P., Wooldridge M., Jennings N. (éd.), *Intelligent Agent III*, number 1193 in LNAI, Berlin: Springer. 157-171.
- Traum D. R., Hinkelman E. A. (1992). Conversation acts in task-oriented spoken dialogue. *Computational Intelligence*. Special Issue on Non-literal Language.
- Traum D. R., Poesio M. (1997). Conversational actions and discourse situations. *Computational Intelligence*, Vol. 13(3), 309-347.
- Trognon A., Brassac C. (1992) L'enchaînement conversationnel. *Cahiers de Linguistique Française*, Vol. 13, 76-107.
- Tuomela R., Miller K. (1988). We-intentions. *Philosophical Studies*, Vol. 53. 367-389.
- Vanderveken D. (1990). *Meaning and Speech Acts: Principles of Language Use*. Cambridge University Press.
- Vanderveken D. (1999). *Analyse et simulation de conversations : de la théorie des actes de langage aux systèmes multi-agents*, chapitre : La structure logique des dialogues intelligents. L'interdisciplinaire informatique. 61-100.
- von Wright G. (1980). *Freedom and determination*. North Holland Publishing Co.
- Walton D., Krabbe E. (1995). *Commitment in Dialogue*. Suny Press.
- Werner E. (1992). The design of multi-agent systems. In Werner E., Demazeau Y. (éd.), *Decentralized AI 3 - Proceedings of the Third European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW-91)*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. 3-30.
- Winograd T., Flores F. (1986). *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*. Norwood, NJ: Ablex.

Wittgenstein L. (1953). *Philosophical Investigations*. MacMillan.

Wooldridge M., Jennings N. (1994). The cooperative problem solving process: A formal model. Technical report, Department of Computing, Manchester Metropolitan University, UK.

Wooldridge M., Mac Burney P., Parsons S. (2002). Desiderata for agent argumentation protocols. In *Proceedings of the Autonomous Agent and Multi-Agent Systems Conference (AAMAS'02)*, 402-409.

Les auteurs



Philippe Pasquier est doctorant du laboratoire DAMAS (Dialogue, Apprentissage et Systèmes Multi-Agents) sous la direction de Brahim Chaib-draa. Il y travaille sur la pragmatique des communications entre agents artificiels. Il est en outre impliqué dans la création artistique contemporaine où il essaie, entre autres, d'appliquer les concepts et techniques issus des sciences cognitives en général et de l'intelligence artificielle en particulier aux pratiques artistiques contemporaine dans l'esprit propre au mouvement « art science et technologie ».

Plus d'informations : <http://www.damas.ift.ulaval.ca/~pasquier/>



Brahim Chaib-draa a reçu son titre d'ingénieur de École Supérieure d'Électricité (SUPELEC) à Paris (France) en 1978, et son doctorat de l'Université du Hainaut-Cambrésis à Valenciennes (France) en 1990. Il a travaillé sur de nombreux projets en Europe, Afrique et Amérique du Nord. En 1990, il a rejoint le département d'informatique et de génie logiciel de l'Université Laval, à Québec (Canada) où il est professeur. Il y dirige le laboratoire sur les dialogues, l'apprentissage et les systèmes multi-agents (DAMAS).

Plus d'informations : <http://www.damas.ift.ulaval.ca/~chaib/>

