

Les systèmes multi-agents

Anne Nicolle

1. Présentation

On appelle agent un système mécanique, biologique ou logiciel qui interagit avec son environnement. Par exemple, une imprimante peut être vue comme un agent mécanique qui réagit à des commandes et produit des actions en retour. Les plantes, les animaux, les humains sont des agents biologiques ayant plus d'autonomie, qui absorbent des nutriments, qui respirent, qui se transforment et qui transforment leur environnement. Les agents logiciels sont des programmes autonomes, mis en route sur une machine, qui perçoivent certains éléments de leur environnement par les flots d'entrée (clavier, souris, capteurs) et agissent par les flots de sortie (affichages sur l'écran, commande de machines physiques, contrôle de processus).

Un système multi-agents (SMA) comporte plusieurs agents qui interagissent entre eux dans un environnement commun. Certains des agents du SMA sont des agents logiciels, certains agents peuvent être des personnes ou leurs représentants (avatars), ou même des machines mécaniques. S'il y a moins de trois agents logiciels, on parle plutôt d'interaction homme/machine, ou machine/machine que de système multi-agents.

Pour concevoir un logiciel à base d'agents, il faut définir le modèle de chacun des agents qui vont entrer en action, définir leur environnement et leurs interactions, et définir des organisations sociales. On définit par là un modèle de système multi-agents. Il faut aussi définir une boucle de calcul qui crée, initialise les agents, installe leur organisation et lance les agents qui doivent intervenir pour une exécution particulière. On définit par là un système multi-agents concret. En fixant les valeurs initiales d'un certain nombre de paramètres, on peut obtenir une variété d'exécutions du même système multi-agents.

Dans un système multi-agents, est utile de pouvoir appeler agent soit une personne, soit un dispositif matériel, soit une entité logicielle autonome. Cette convention permet de traiter de manière complète et unifiée les interactions entre les agents et fait ressortir l'importance de l'interaction des agents logiciels avec leurs utilisateurs. Trois formes d'interaction principales structurent ce collectif :

- entre des personnes via des agents logiciels (par exemple, négociations avec délégation de pouvoir pour les ventes et achats d'actions en bourse),
- entre les agents logiciels,
- entre une personne et un ou des agents logiciels.

Nous nous intéresserons aux deux derniers cas, car le premier est une composition des autres. Nous regarderons d'abord l'interaction entre agents logiciels, puis les modes d'interaction qui facilitent d'échange entre les personnes et les agents logiciels (dialogue personnes/machines).

Un système multi-agents peut avoir un des rôles suivants :

- Résoudre un problème de manière distribuée (on parle alors plutôt de systèmes multi-experts), et il s'agit en général d'agents rationnels

- Simuler un phénomène complexe, la plupart des exemples utilisent des agents réactifs
 - Créer et maintenir un environnement de travail,
- nous allons examiner ces trois domaines, montrer la nature des agents nécessaires pour les mettre en place et la nature de leurs interactions.

1) En résolution de problèmes, les actions des agents sont des transformations d'objets formels liés à la description d'un problème : des contraintes, des règles, des formules. Chaque agent sait traiter tout ou partie du problème, il peut faire appel à d'autres agents pour certains sous problèmes. Plusieurs agents peuvent avoir des méthodes différentes pour les mêmes problèmes. Le résultat recherché est construit par un des agents, soit parce qu'il est prévu pour récupérer les actions des autres agents et les composer, soit parce qu'il arrive à un résultat du fait des actions des différents agents. L'univers est clos et entièrement connu. Le système s'arrête quand le résultat est obtenu.

2) En simulation, les agents simulent des actions physiques, biologiques ou sociales qui produisent des modifications du monde représenté. Il n'y a pas de résultat au sens propre, on s'intéresse à la dynamique qui émerge du comportement des agents, elle est observée par un agent extérieur sans que les agents participant au système ne la construisent explicitement. Ces systèmes de simulation ne s'arrêtent pas en général par eux mêmes, mais du fait d'une action externe (soit le système est lancé pour un temps déterminé, soit l'utilisateur lance la commande Quitter). Ils sont couplés à des systèmes de traces (comptages, statistiques, calcul de fonctions globales) permettant d'analyser les phénomènes simulés et de comparer différents modèles, ou les effets des modifications de certains paramètres sur les modèles. L'univers est complètement connu, il est déterminé par la représentation du monde qui a été donnée et par l'état du monde au moment du lancement de la simulation. Les résultats sont reproductibles si on initialise de la même manière l'état initial du monde et les fonctions de tirage aléatoire.

Applications : simulation des épidémies animales et de leur traitement social et sanitaire

simulation de la pêche dans le delta du Niger
écosystèmes (proies-prédateurs)

3) En gestion d'un environnement de travail, les actions physiques ou sociales réalisées par les agents sont des actions réelles, elles sont dans le temps et modifient le monde (ex : les robots qui sont allés ramasser des pierres sur la lune, les robots footballeurs, les agents représentant des humains pour des opérations de négociation comme « fixer un rendez-vous »). L'univers n'est pas entièrement connu, chaque agent en a une représentation qui sera confrontée dans l'action avec les réactions du monde ou des autres agents. Ces systèmes doivent donc évoluer avec le temps et leurs résultats ne sont pas reproductibles car les événements dans le monde changent continuellement.

Quelques applications :

Les agents logiciels sont utilisés dans la gestion de systèmes distribués comme les circuits téléphoniques ou le réseau électrique pour assurer une plus grande réactivité en cas de problème et fonctionner le plus longtemps possible en se réorganisant.

Il existe aussi des applications de gestion des terminaux bancaires, où la mise en service des terminaux comme des agents indépendants assure une bonne indépendance qui évite que les problèmes des uns rejaillissent sur les autres, qui facilite la configuration d'un terminal à partir de principes et d'une adaptation au milieu.

Dans le chapitre précédent, nous avons parlé des trois principaux modèles d'agents logiciels : agents réactifs, agents rationnels, agents cognitifs et sociaux. Les agents rationnels sont utilisés en résolution de problèmes, nous en avons vu un exemple dans le premier chapitre et leurs interactions sont planifiées par la décomposition du problème en sous problèmes. Nous allons maintenant nous intéresser principalement aux interactions entre les agents situés, réactifs ou cognitifs, et entre ces agents et leur environnement. Dans le chapitre suivant, nous étudierons les organisations d'agents.

2. L'interaction entre les agents

Jacques Ferber donne la définition suivante de l'interaction : " Une interaction est la mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques... Les interactions sont non seulement la conséquence d'actions effectuées par plusieurs agents en même temps, mais aussi l'élément nécessaire à la constitution d'organisations sociales. " [Ferber 95 p. 67]. Les interactions entre les agents vivants et leur environnement ont pour but principal de maintenir la viabilité des agents en assurant la subsistance et l'élimination des déchets. Les agents réactifs interagissent de manière passive, parce qu'ils entrent en conflit pour des ressources, ou parce qu'ils modifient le monde en laissant des traces dans leur environnement. Les interactions entre les agents ont lieu soit parce qu'il y a un conflit, soit parce qu'il y a coopération pour réaliser une tâche commune. Les agents cognitifs ont des interactions plus variées, en particulier ils ont des interactions intensionnelles et utilisent des systèmes de signes pour communiquer. Les agents peuvent donc interagir soit par l'intermédiaire des actions qu'ils font sur l'environnement et qui sont visibles pour les autres agents, soit par l'intermédiaire de messages qu'ils s'envoient les uns aux autres. Un agent ne peut pas agir directement sur les représentations internes d'un autre agent : quand il envoie un message, l'agent qui le reçoit va l'interpréter et y répondre selon son propre protocole. Pour les agents logiciels, la question de l'environnement se pose soit en cas de simulation d'agents vivants, soit pour décrire l'environnement matériel et logiciel réel des agents, en particulier la manière dont ils reçoivent et produisent des événements. Regardons comment les choses se passent pour des agents naturels biologiques.

2. 1. La coopération

La coopération est nécessaire quand un agent ne peut pas atteindre ses buts sans l'aide des autres agents. Cette situation est fréquente même chez des espèces primitives, édification d'une fourmilière par exemple. Souvent les buts nécessitant la coopération sont des buts sociaux, ils assurent la survie du groupe ou de l'espèce. Quelquefois, ce sont des buts individuels, un agent qui en aide un autre peut attendre une aide en retour ou se faire payer son travail. Un agent peut avoir besoin d'un autre agent parce que cet agent a des compétences qu'il n'a pas, ou parce qu'il faut être plusieurs pour réaliser la tâche (pousser un objet trop lourd). La coopération n'est pas forcément consciente, elle peut résulter d'un comportement automatique, comme la construction des ruches ou des termitières.

2. 2. La compétition

La compétition entre agents peut avoir plusieurs sources. Les buts des agents peuvent être incompatibles : dans une situation de jeu, chacun cherche à être gagnant mais la réalisation de ce but pour un des joueurs rend impossible la réalisation du but des autres joueurs. Les ressources dont les agents ont besoin peuvent être rares et l'utilisation d'une ressource par un des agents peut empêcher un autre agent de réaliser son but. Par exemple, si l'imprimante est utilisée je dois attendre pour imprimer mon article et je ne pourrai pas le poster avant le départ du courrier. La compétition crée des situations de conflit qui peuvent être résolues par la lutte ou par la coordination.

2. 3. La coordination

Il y a interaction entre les agents soit parce qu'ils coopèrent, soit parce qu'ils sont en compétition. Dans les deux cas, une coordination peut être nécessaire pour améliorer le fonctionnement global du système. Lorsque plusieurs agents travaillent sur le même lieu, utilisent les mêmes ressources, ou résolvent des sous problèmes qui ne sont pas complètement indépendants (conception d'un objet complexe par exemple), ils doivent accomplir, en plus des tâches liées directement au problème traité, des tâches de coordination. Ces tâches ne sont pas directement productives mais elles améliorent les tâches productives. Ces tâches de coordination peuvent être accomplies directement par les agents concernées quand elles sont relativement rares et qu'elles n'engagent pas un grand nombre d'agents en même temps. Sinon, elles sont prises en charge par des agents spécialisés qui recueillent les demandes et fixent les ordres de priorité ou d'autres contraintes. L'exemple du contrôle aérien est un cas où suivant la fréquence du trafic, on peut passer d'un modèle à l'autre (petit aéro-club où il suffit de se coordonner avec les pilotes en vol, aéroport d'Orly où il y a un pool de contrôleurs ayant une tâche très difficile à cause de la charge cognitive qu'elle comporte).

Dans les populations animales, la coordination a lieu de manière déterminée par la structure sociale, mais elle est aussi le lieu où la structure sociale se met en place. Les animaux d'un même clan coopèrent pour réaliser des buts collectifs, trouver et rapporter la nourriture, construire des abris, élever les petits. Ils ne coopèrent pas avec les membres des autres clans mais ils les combattent. La coordination a lieu au moment où elle est nécessaire, à travers la perception conjointe des situations et des actions des autres.

Dans les sociétés humaines, cette forme de coopération a aussi lieu, mais l'existence du langage permet de prévoir et d'organiser cette coopération alors que la situation n'est pas présente (alliances, planification). Le langage permet aussi d'améliorer la coopération après coup, par remémoration des situations difficiles ou des situations d'échec. Enfin, en racontant les situations glorieuses, on transmet des modes de coopération efficaces. Les interactions fondent les organisations sociales entre les agents et en retour, elles sont régies par les organisations sociales.

Pour cette question de la coopération entre agents, on peut donc s'inspirer des solutions naturelles existant soit dans des sociétés animales, soit dans les sociétés humaines. En retour, la simulation sur ordinateur est un moyen de valider les modèles qui sont proposés pour les sociétés animales ou humaines, ou plus exactement, en permettant de comparer le fonctionnement naturel et le fonctionnement du modèle, de mettre en évidence les

dysfonctionnements du modèle pour l'améliorer. La simulation permet aussi de tester des modèles d'organisation sur un grand nombre de cycles avant de les proposer pour structurer des sociétés. Plusieurs modèles de coopération peuvent être proposés :

- Un agent se charge de la coordination : il fait un plan et distribue le travail entre les agents qui lui retournent les résultats. Cet agent doit connaître les autres et savoir quelles sont leurs capacités. Il doit voir tout ce qui se passe et tout contrôler. S'il est en panne, tout s'arrête.
- Un agent est responsable d'un problème, il le découpe en sous problèmes et propose aux autres agents de résoudre les sous problèmes. Ceux qui savent le faire font des propositions et une négociation a lieu pour attribuer les sous problèmes aux agents, qui peuvent ensuite les redécomposer... Un contrat lie alors les agents pour le temps de la résolution. L'agent responsable du problème n'a pas besoin de connaître les compétences des autres agents, il n'a pas non plus besoin de connaître les autres agents s'il peut placer ses messages dans un lieu public.
- Le problème est extérieur aux agents, il est placé sur un tableau noir, les propositions des agents sont placées sur le tableau au fur et à mesure. C'est le problème qui sait s'il est résolu (ou un observateur extérieur) et dans ce cas, les pannes des agents ont une influence minime sur l'avancement de la résolution.
- Mentionnons le cas de la résolution de problèmes par interaction homme-machine, l'homme va contrôler le processus et déléguer à la machine les tâches de calcul, de mémorisation et les tâches de routine et conserver les tâches de contrôle et de décision. Dans certains cas, c'est la machine qui a le contrôle (atterrissage des avions dans les grands aéroports) car elle fait moins d'erreurs que les humains.

3. La communication entre les agents

Pour que la communication entre les agents puisse avoir lieu, il faut définir une infrastructure de communication et un protocole de communication. L'infrastructure de communication assure la production et la réception des messages via un média physique (son, gestes, traces graphiques). Un message peut être synchrone si le locuteur et l'allocutaire sont en présence : gestes ou paroles. Il peut être asynchrone dans le cas des traces qui peuvent être observées hors du lieu et du moment de leur production : dessin ou écriture. Il peut avoir un ou plusieurs destinataires nommément désignés ou s'adresser à la cantonnade. Il peut nécessiter des canaux de transport (poste, téléphone). Le protocole de communication assure la compréhension des messages. Il définit qui peut parler à qui, quand et comment. Il décrit les champs du message et leur domaine de valeurs, la syntaxe et la sémantique des énoncés. Il comme support une mémoire partagée et des mécanismes de négociation du sens.

La communication entre des agents suppose l'existence d'un monde partagé et modifiable qui est le support et l'enjeu des interactions. Il est le support des interactions parce qu'il fournit l'infrastructure matérielle et le protocole social des communications, il est l'enjeu des interactions parce que les messages transforment le monde, où la connaissance que les agents en ont. Suivant les types d'agents, le monde partagé est plus ou moins complexe et les interactions sont plus ou moins évoluées.

On peut distinguer deux formes de communication : la communication synchrone et la communication asynchrone. Dans la communication synchrone, un message est reçu en même temps qu'il est émis (dialogue oral ou gestuel, téléphone), alors que dans la communication asynchrone, le message est émis hors de la présence de l'allocutaire. Lorsque la communication

est synchrone, il peut ou non y avoir co-présence des interlocuteurs dans l'espace. S'il y a co-présence, il y a un monde partagé par la perception et l'action et il est possible d'y faire référence. Sinon, le monde sera partagé par la représentation que l'un des interlocuteurs s'en fait, comme pour les messages asynchrones. Les agents qui communiquent par messages asynchrones peuvent envoyer des messages directement aux agents qu'ils connaissent ou placer des messages dans un endroit accessible par plusieurs agents, sans connaître ceux qui les liront. Il est laissé sur place pour ceux qui passent ou envoyé par un moyen de communication à un destinataire qui le reçoit au bout d'un temps indéterminé.

Il peut y avoir monde partagé en cas de communication asynchrone lorsque les messages sont laissés à l'endroit requis pour leur compréhension (signaux routiers). Quand le monde est partagé par représentation, ou à distance dans le temps, certaines choses peuvent avoir changé, ce qui perturbera la bonne compréhension des messages.

Dans les SMA, les messages synchrones sont réalisés par des appels de fonctions, les fonctions sont bloquantes pour l'envoyeur qui attend la réponse. Les messages asynchrones sont réalisés soit par écriture sur un tableau noir, soit par un système de messages avec boîtes à lettres. Le partage du monde par perception a pour analogue les variables partagées et les événements captés par les agents en même temps. Le partage du monde par représentation utilise des ontologies.

4. Modèle des interactions

les agents interagissent avec l'environnement et avec les autres agents. L'interaction est la mise en œuvre de leur rapport au monde. Le monde d'un agent peut s'analyser selon trois dimensions : le monde physique, le monde social, le monde du soi qui sont la matière et l'enjeu des interactions. Nous décrivons sommairement les caractéristiques de chacun de ses mondes, puis les caractéristiques des agents en situation d'interaction.

4. 1. Le monde

Les agents sont situés dans un monde à trois dimensions : physique, sociale et personnelle (monde propre ou monde du soi). Ces trois dimensions se co-construisent, aucune n'est détachable des autres, mais cette distinction est utile car elle permet d'expliquer la dynamique des activités langagières et les différentes formes d'enchaînements conversationnels.

- La dimension physique renvoie au temps et à l'espace, aux champs de force dans lesquels les agents sont situés (gravitation, champs magnétiques ou électriques, vent...), aux choses matérielles (que notre expérience d'humain nous conduit à détacher du continuum des sensations pour en faire des objets) et à leurs transformations, aux substances qui composent les objets, aux événements et aux processus.

- La dimension sociale renvoie aux relations entre les agents, à leurs organisations, et aux statuts relativement à leur adhésion institutionnelle, aux rôles (qui sont plus ou moins l'expression de leur statut en situation d'interaction), à leur position sociale ici et maintenant. C'est le lieu des stratégies de protection et d'attaque de face dans les interactions. Elle renvoie également aux phénomènes émotionnels collectifs comme la liesse, la panique, la guerre. Le

social est un monde intersubjectif, créé par les interactions entre les agents, qui comporte plusieurs types d'objets :

- les systèmes de signes dont les langues naturelles,
- les institutions, les organisations, les normes,
- les valeurs partagées : liberté, égalité, fraternité...
- la culture et la connaissance,
- les projets, stratégies et tactiques de groupe.

• La dimension du soi, ou monde propre, ou cognition est une dimension biologique et psychologique pour les agents vivants. Elle est ce qui distingue l'agent de son environnement, ce qui est en jeu dans le maintien de la viabilité. Elle renvoie d'abord aux relations de l'agent au monde : aux sensations, aux émotions et aux actions de l'agent. Elle renvoie également aux perceptions construites via les processus de catégorisation et de mémoire, et aux décisions qui en résultent. Elle renvoie enfin chez les agents évolués aux stratégies, plans, intentions, croyances qui structurent les perceptions et décisions de l'agent et ses relations aux autres. Pour les agents logiciels, cette dimension est le lieu des perceptions, des représentations et des décisions d'action. Elle est implantée par une boucle de comportement primaire.

Presque tous les éléments du monde font partie de plusieurs dimensions, les objets techniques en sont un bon exemple, objets matériels assurément, ils sont aussi des objets sociaux, qu'on invente, qu'on construit, qu'on achète, et leur propriétaire peut les considérer comme faisant partie de son monde propre (ma maison, ma voiture, mes skis...).

Pourquoi distinguer ces mondes ? Parce que les mondes et leurs transformations, qu'ils soient réels ou imaginaires, constituent la source et l'enjeu des interactions. Parce qu'une focalisation sur l'un ou l'autre d'entre eux, en qualité de produit, de ressource ou d'enjeu ne va pas donner lieu aux mêmes types d'interactions. Cet aspect est essentiel à prendre en considération car la trace, la sanction d'une « bonne » gestion des interactions par un agent repose sur ses réactions en actes, actions physiques qui transforment le monde physique, ou actes de langage qui construisent et transforment le monde social. Chacune de ces dimensions - physique, sociale, personnelle - peut constituer une ressource pour les interactions :

- 1) comme support des interactions (permettant l'étayage de connaissances situées et distribuées) en particulier pour gérer les procédés de monstration,
- 2) comme moyen pour accéder aux mécanismes d'intercompréhension,
- 3) comme moyen pour apprécier si les rôles attribués (monde social) et l'affectivité qui leur est associée (monde émotionnel) sont acceptés ou non dans l'espace de l'interaction,

4. 2. Les agents

Les êtres vivants évolués, les robots et les artefacts « intelligents », que nous désignerons plus généralement sous le terme d'agents se situent dans le monde et ils peuvent être analysés selon trois composantes relativement à ces trois dimensions du monde : 1) la composante physique d'un agent qui interagit avec le monde physique par l'action et la sensation ; 2) la composante sociale d'un agent qui gère les conflits, la coopération, l'interaction entre les agents, les rôles pris dans les organisations ; 3) la composante du soi qui peut être analysée selon trois niveaux non détachables :

- un niveau primaire correspondant aux besoins que l'agent doit satisfaire pour assurer sa viabilité, comme individu et comme espèce, et aux émotions (peur, colère, joie, peine...) qu'il éprouve.

- un niveau secondaire correspondant aux perceptions, aux désirs et aux intentions que l'agent forme relativement à ses sensations, ses émotions et à ses besoins. La perception filtre les sensations et les interprète en fonction des besoins, désirs et intentions de l'agent. Le jugement et la décision amènent à former des actions. Ce niveau assure la gestion du présent.

- un niveau tertiaire, qui est un niveau réflexif, correspondant à la gestion du passé et du futur : mémoire, analyse, prévision, délibération, en utilisant des raisonnements, plans et stratégies.

Distinguer trois niveaux de la composante du soi facilite ensuite l'analyse des interactions. Si les agents ont une connaissance du monde physique et du monde du soi par leurs sensations et leurs actions, leurs interactions construisent le monde social. Elles construisent le monde dans ses trois dimensions comme un monde partagé entre les agents et transforment la connaissance que chaque agent a du monde. Cette vision des agents permet d'analyser et de construire des interactions langagières. La position dans le monde des agents artificiels intervient sur les dialogues qu'ils peuvent mener, car toute action langagière fait intervenir les trois composantes des agents, de celui qui parle comme de celui qui écoute. Elles produisent des transformations du monde dans toutes ces dimensions. Montrons en quelques exemples :

- la fenêtre est ouverte du fait de ma demande (transformation du monde physique)
- je promets d'aider le locuteur à déménager (transformation du monde social)
- j'ai peur parce qu'il a menacé de me dénoncer (transformation du soi).

4. 3. L'interaction

Pour préciser la différence entre les différentes formes d'interaction, il faut revenir à la distinction entre les différentes sortes de signes proposée par Peirce selon la seconde tricotomie [Peirce 78] :

- les indices ou les traces renvoient à l'objet qu'ils dénotent parce qu'ils sont directement affectés par cet objet, comme la fumée est indice du feu, ou comme les traces de phéromone sont indices du passage des fourmis. Ils permettent l'interaction dans les sociétés animales via des processus de type stimulus-réponse. Les agents réactifs utilisent ce mode d'interaction qui ne nécessite pas de protocole partagé.

- les icônes renvoient à l'objet qu'elles dénotent en vertu de ressemblances entre le signe et l'objet. Elles peuvent donc être utilisés comme signes sans apprentissage et sans co-référentiation préalable en vertu de leurs propriétés intrinsèques. Elles sont donc bien adaptées aux interactions entre les humains et les machines quand il s'agit de tâches simples, comme les commandes d'un système d'exploitation via une interface graphique (bureau du MacIntosh, Window 95...)

- les symboles renvoient à l'objet qu'ils dénotent en vertu de conventions sociales. Ils nécessitent un accord entre les parties pour être interprétés utilement. La communication symbolique nécessite un protocole de communication.

Les agents réactifs peuvent seulement interagir par les modifications de l'environnement physique, comme des traces de pas, des débuts de construction. Un seul niveau de modélisation est nécessaire, au niveau physique, c'est-à-dire au niveau de l'espace, des champs de potentiel, de la matière et du temps. S'il y a interaction, c'est parce que l'agent interprète les modifications non intentionnelles de l'environnement comme des signaux, signaux qui vont contraindre ses actions ultérieures.

Les agents cognitifs et sociaux communiquent aussi par envoi de messages, c'est à dire par des modifications intentionnelles de l'environnement suivant des conventions supposées partagées entre l'émetteur et le receveur du message. Ces messages ont un mode d'existence matériel pour pouvoir être transmis, mais ils ne se réduisent pas à leur existence matérielle car on ne peut pas les interpréter sans connaître le code. Les oiseaux par exemple communiquent ainsi par leurs chants, ils se comprennent dans la même population mais les populations différentes de la même espèce ne se comprennent pas. Ces signaux sont des messages en vertu de conventions sociales, qui fixent les règles pour coder et décoder les messages, mais aussi les routines d'interaction qui déterminent qui a le droit d'envoyer les messages à quelqu'un et sous quelle forme. Ils ont une existence mentale quand ils ont été compris, qui détermine les actions accomplies par l'agent suite à l'interprétation de ce message. Il faut donc non seulement qu'un canal de communication existe et transmette des signaux, il faut que l'agent récepteur soit prêt à recevoir le message et qu'il puisse l'interpréter. Il faut un savoir partagé pour que les messages fassent sens, en particulier, il faut partager un monde accessible par la perception et l'action, un code pour engrammer des messages, et un protocole de communication. Ce protocole fait qu'un agent accepte un message d'un autre agent : conventions de début et fin du dialogue, de gestion des tours de parole. Deux niveaux de modélisation sont donc nécessaires : 1) un niveau physique, qui détermine le lieu et le temps du message, et un média physique qui assure l'engrammation du message. Il détermine sa forme. 2) un niveau biologique qui détermine la possibilité de produire et de recevoir des messages d'un certain type (parole, écriture, signaux télégraphiques...) 3) un niveau social qui détermine les conventions qui règlent leur structure et leur contenu. Il comporte la gestion des communications, la syntaxe et la sémantique des messages.

Les agents humains peuvent interagir entre eux selon plusieurs modes. Ils peuvent entrer dans une activité partagée, comme jouer au foot. Ils peuvent communiquer par des signaux (routiers, de navigation... dont le sens n'est pas négociable). Ils peuvent utiliser des codes comme les notations mathématiques et les langages de programmation avec une sémantique non ambiguë. Mais ils utilisent principalement pour communiquer les langues naturelles qui ne fonctionnent pas selon le modèle du code mais selon le modèle du transfert. Ce niveau symbolique permet de parler des choses en leur absence, et de parler de choses imaginaires comme des mythes, des histoires, de faire des projets. C'est le seul mode de communication avec lequel on peut paraphraser tous les autres.

5. L'activité langagière

Même si les effets situationnels d'une phrase varient par définition d'énoncé à énoncé, la phrase porte en elle des indications qui sont constantes, qu'on appelle la contribution du matériau linguistique. « En tant qu'unité linguistique, un déictique ne dit certes pas quel est son référent, mais il signale comment, dans la situation, trouver son référent » [Ducrot]. La morpho-syntaxe et la sémantique des langues analysent le matériau linguistique et créent les conditions dans lesquelles les analyses du langage en situation sont possibles. Cette étude sort du champs de ce cours, nous donnerons seulement un aperçu des théories de l'activité langagière pour pouvoir décrire ensuite les différentes modalités de dialogue entre des agents logiciels, ou entre des agents humains et logiciels.

Tout comme les langues naturelles, les langages de programmation ou de commandes de machines, les langages pour l'échange de messages en agents sont des systèmes de signes

symboliques articulés qui forment des énoncés. Ils ont une syntaxe et une sémantique. Mais les seconds sont des codes, analysables terme à terme de manière compositionnelle, alors que les premières n'en sont pas, ce sont des systèmes sémiotiques où tout se tient. C'est par le dialogue que chacun constitue sa compétence linguistique, et c'est par le dialogue que les langues évoluent.

Nous allons préciser cette différence à travers les théories des actes de langage et les théories de la pragmatique.

5. 1. Les actes de langage

Les agents agissent dans le monde physique par des actions physiques : déplacement et modification des objets, gestes, mouvements, cris... Ils agissent dans le monde social principalement par des actes de langage (exceptions : faire une minute de silence, défiler). Selon Austin¹, en prononçant un énoncé, on réalise simultanément trois sortes d'actes :

1) un acte locutoire, qui consiste à utiliser des conventions sociales - la langue - pour produire un énoncé doté d'un sens et d'une référence. Il nécessite un échange de signaux physique (par exemple en actionnant son appareil phonatoire pour produire des sons, mais aussi en utilisant des gestes). Il dépend de la nature du médium physique utilisé pour communiquer, le son, le geste, les marques sur un support sont les principaux média. L'utilisation d'un médium impose des contraintes sur les relations entre l'émetteur et le récepteur : disponibilité des organes perceptifs, proximité. Seules les marques sur un support (écriture, enregistrement audio) permettent la communication asynchrone.

2) un acte illocutoire, acte produit en disant quelque chose : avertir, informer, promettre, commander.

3) un acte perlocutoire, qui est l'effet produit sur le monde par l'énoncé. Cet effet est particulièrement visible dans les énoncés déclaratifs comme « Je déclare la séance ouverte », dits par une personne autorisée à le faire dans la situation appropriée. Mais Austin a montré qu'il y a toujours une dimension performative dans un énoncé : une promesse a été faite, un ordre a été donné, une histoire a été racontée... Cet effet dépend de l'énoncé proféré, mais aussi des conditions dans lesquelles il a été dit. Pour ouvrir une séance, il faut avoir l'autorité pour le faire, il faut que le quorum soit atteint...

Searle et Vanderveken ont précisé la notion d'action de langage en décomposant un énoncé en deux parties : le contenu propositionnel et la force illocutoire. Vanderveken a montré que la force illocutoire était composée principalement d'un but illocutoire et d'autres éléments : mode d'accomplissement (politesse, respect des rôles et positions sociales), conditions de validité (sincérité du locuteur, habilitation à faire l'acte...), direction d'ajustement. Les buts illocutoires peuvent être soit lexicalisés, c'est-à-dire liés à des mots ou des expressions, comme dans « Je t'ordonne de venir », soit être réalisés syntaxiquement, par les modes des verbes, « Viens », par des marqueurs spécifiques, intonations ou signes de ponctuation « Tu viens ? », ou par l'ordre des mots « Viens tu ? ».

Les 4 forces illocutoires qui ressortent des travaux récents après de nombreux débats sont :

¹ Austin, J., 1962, *How to do things with words*, Oxford university press. Traduction française : *Quand dire, c'est faire*, Seuil.

- assertif : représenter un état de choses ex : affirmer, nier, postuler, remarquer mode : indicatif

- engageant : s'engager à accomplir une action ex : promettre, faire vœu de, garantir, parier, jurer mode : indicatif, temps : présent

- directif : demander à l'allocutaire de faire une action ou de donner une information ex : commander, ordonner, demander, interroger mode : impératif ou interrogatif

- déclaratif : accomplir une action par le fait de se représenter en train de la faire ex : acquitter, condamner, prononcer, décréter, classer, évaluer, léguer, pardonner mode : indicatif, temps : présent

Ils se distinguent par leur direction d'ajustement. Un énoncé peut s'ajuster au monde s'il a pour but de le décrire (assertifs). Le monde peut s'ajuster à l'énoncé si je donne un ordre qui est obéi (directifs) ou si je fais une promesse qui est tenue (engageants). L'énoncé et le monde s'ajustent l'un à l'autre dans les actes déclaratifs réussis.

Vanderveken a fait la distinction entre réussite et satisfaction d'un acte de langage. On peut maintenant les redéfinir ainsi : un acte est réussi s'il est compris par celui à qui il s'adresse : s'il est exprimé de manière compréhensible du fait des mots employés, de la correction grammaticale, du respect des règles de politesse. Un acte est satisfait si l'intention du locuteur est accomplie du fait de l'acte de langage.

Exemple : A à B : « Peux tu fermer la fenêtre, s'il te plaît »

- 1) B se lève et la ferme -> acte satisfait
- 2) C entre et ferme la fenêtre -> acte non satisfait car C n'a pas entendu
- 3) B à A : « Mais il fait trop chaud ! » -> acte réussi mais non satisfait

La réalisation effective d'un acte de langage à partir d'un acte illocutoire qui le décrit, autrement dit la satisfaction de l'acte illocutoire, suppose donc que certaines conditions soient remplies : conditions sociales, conditions physiques, conditions mentales du locuteur et de l'allocutaire. Chez Austin, Searle et Vanderveken, l'allocutaire est sollicité uniquement pour expliquer l'échec de certains actes, par exemple une promesse échoue si elle n'est pas entendue et/ou si elle n'est pas comprise. Bref si quelque chose se passe mal c'est l'allocutaire qui est responsable et non le locuteur. Il est fait référence à un locuteur standard qui maîtrise parfaitement la langue et qui fait qu'il est possible lorsqu'il énonce un acte locutoire de déterminer l'acte illocutoire et l'acte perlocutoire qui en résultent. Bref à partir des éléments du contexte et de la structure syntactico-sémantique de l'énoncé il dit qu'il est possible de calculer, d'accéder à ces trois types d'actes.

Au contraire, Trognon et Brassac ont montré que l'acte illocutoire est co-construit par les interactants, qu'il est l'objet de négociations, d'interprétations en acte... [Trognon & Brassac, 1992]. Ils ont mis en évidence qu'il faut 3 tours de parole au moins pour savoir si un acte est ou non réussi, s'il est ou non satisfait et que les effets perlocutoires d'un énoncé, loin d'être automatiques, peuvent être négociés par les participants.

Le père de Toto : « Toto, mange ta soupe ! »

Toto : « Je la mange, mais c'est pas parce que tu me l'as demandé. »

Toto refuse la satisfaction de l'acte de discours de son père, bien qu'il semble qu'il obéisse à son ordre. Son acte est réussi, puisque Toto a compris, qu'il n'a pas contesté son autorité, mais l'effet perlocutoire a été dénié.

Une production verbale est porteuse d'un potentiel d'actes illocutoires et perlocutoires, c'est l'allocutaire à travers son interprétation en actes qui va faire exister dans l'espace de

l'interlocution l'un de ces potentiels. Au tour suivant, le locuteur pourra rectifier ou non l'interprétation de son partenaire et ainsi de suite.

5. 2. Maximes de Grice

Pour interpréter les énoncés de manière non littérale, et pour les compléter car on ne dit pas tout, il faut faire quelques hypothèses, connues sous le nom de « maximes de Grice ». L'idée de Grice est que les interlocuteurs s'engagent l'un vis à vis de l'autre à respecter le principe de coopération.

« Que votre contribution à la conversation soit, au moment où elle intervient, telle que le requiert l'objectif ou la direction acceptée de l'échange verbal dans lequel vous êtes engagé. »

Cette idée peut être explicitée par quatre catégories générales qui sont appelées les maximes de conversation.

Maximes de quantité

1. Que votre contribution contienne autant d'information qu'il est requis.
2. Que votre contribution ne contienne pas plus d'information qu'il est requis.

Maximes de qualité

Que votre contribution soit véridique

1. N'affirmez pas ce que vous croyez être faux.
2. N'affirmez pas ce pour quoi vous manquez de preuves.

Maxime de pertinence

Parlez à propos

Maximes de manière

Soyez clair

1. Évitez de vous exprimer avec obscurité
2. Évitez d'être ambigu
3. Soyez bref
4. Soyez ordonné.

Grice présente ses maximes de manière normative, comme des conseils à un locuteur. En fait, c'est d'une théorie de l'interprétation dont il s'agit, l'allocutaire va interpréter les énoncés comme s'ils avaient utilisé les maximes. Mais si des indications viennent contredire cette interprétation littérale, d'autres hypothèses seront faites. Ce sont des règles d'interprétation par défaut.

5. 3. Interprétation des actes de langage

Un code fixe le sens des messages indépendamment du contexte dans lequel il a lieu et nécessite un accord préalable entre les parties sur le sens des éléments et le sens de leurs combinaisons. La sémantique d'un code est compositionnelle. L'existence d'un code suppose l'existence d'une langue partagée qui permet de le construire, il ne peut pas exister sans une manière préalable de communiquer. À l'opposé d'un code, une langue est construite par l'interaction et le sens des énoncés est attribué par celui qui écoute. Il retourne à l'émetteur son

interprétation en acte, qui peut alors être ou non acceptée. Le sens des énoncés se construit dans l'interaction, sinon les enfants ne pourraient pas apprendre à parler, et les langues ne pourraient pas évoluer. Le sens est négocié et toujours négociable, on trouve toujours du sens à ce qui est dit, si ce n'est pas au premier degré, c'est au deuxième ou au troisième. La sémantique n'est pas compositionnelle, elle est émergente. Ce sont les répétitions, les isotopies qui produisent du sens :

« Un souriceau tout jeune, et qui n'avait rien vu, fut presque pris au dépourvu... » (Jean de La Fontaine)

Pour faire communiquer des agents hétérogènes, qui peuvent évoluer et dont le langage peut évoluer, il faudrait proposer une définition dialogique du langage, c'est à dire un noyau commun minimal et des possibilités de négocier le sens pour faire évoluer le langage par son propre usage. Ainsi, en vue de mettre au point un langage pour le dialogue humains/agents ou le dialogue entre agents, nous avons proposé une méthode d'interprétation des actes de langage² qui s'appuie sur les travaux de Searle, Vanderveken, Trognon et Brassac, mais en proposant une analyse sémantique du point de vue de celui qui écoute, qui intègre une analyse du contenu propositionnel basée sur le modèle du monde que nous avons présenté ci-dessus. Cette analyse des actes de langage amène à distinguer trois composantes, elles-même décomposables :

1- le contenu propositionnel : monstration (objets, procès), prédication ou narration (établissement d'une relation entre les objets et les procès montrés)

2- la force illocutoire : but illocutoire (assertif, engageant, directif, déclaratif), conditions préparatoires (possibilité, sincérité, autorité), mode d'accomplissement (politesse, degré de force)

3- le contexte ou plus exactement la situation d'interaction : identité du locuteur et de l'interlocuteur, lieu et temps, histoire de l'interaction. On dit encore le terrain commun.

exemple : “ je regarde les enfants jouer par la fenêtre ”

monstration d'un objet : “ je ”,

monstration d'un procès : “ les enfants jouer ”

monstration des circonstances : “ par la fenêtre ”

établissement d'une relation entre les objets et les procès montrés :

regarde (je, les enfants jouer)

but illocutoire : assertif

mode d'accomplissement : standard

conditions de possibilité : existence d'une fenêtre, existence d'enfants qui jouent visibles de la fenêtre, le locuteur est en position physique de regarder... Si ces conditions ne sont pas remplies, l'interprétation ne doit pas être littérale, elle doit tenir compte de la situation : un aveugle utilise le mot regarder pour observer, il peut s'agir d'une narration venant d'une action passée, ou d'une histoire inventée, ou d'une excuse pour ne pas faire autre chose...

La question du dialogue entre agents fait l'objet de beaucoup de recherches sur divers plans. À Grenoble, Guillaume Chicoisne et Sylvie Pesty ont un projet de recherche sur les

² Nicolle A., Saint-Dizier De Almeida V. (1999) Vers un modèle des interactions langagières. In B. Moulin, S. Delisle, B. Chaib-draa (Eds.) : *Analyse et Simulation de Conversations : de la théorie des actes de discours aux systèmes multiagents*. Limonest : L'Interdisciplinaire, 133-169.

robots qui dialoguent sur les « chats » en utilisant du langage écrit spontané et en mettant en œuvre la notion de force illocutoire et de négociation sur l'interprétation.

6. Conception et implantation des SMA

Nous avons étudié jusqu'à maintenant les dimensions structurelle et fonctionnelle des SMA. Reste à étudier le comportement dynamique, la genèse d'une exécution, on dit encore le cycle de vie, pas au sens du génie logiciel du cycle de vie du programme, mais le cycle de vie du SMA pour chacune de ses exécutions. Trois questions vont être examinées dans cette section : 1). le comportement de contrôle du système, qui doit assurer la création, l'exécution et la terminaison des agents ; 2). le comportement d'un agent à chaque pas d'exécution ; 3). la communication entre les agents suivant le mode d'implantation choisi. Nous étudierons ces questions à partir d'un exemple simple au départ, qui va se complexifier peu à peu :

Le jeu des voleurs-volés

- 0) on crée n agents identiques référencés dans une liste partagée par tous les agents
- 1) les agents sont initialisés avec 1 à n objets dans leur sac
- 2) un agent qui s'exécute choisit un agent et prend un objet dans son sac. Si l'agent volé n'a rien à donner, il se suicide. S'il se choisit lui-même, il perd son tour.
- 3) un agent sort de la liste quand il se suicide.
- 4) la partie est terminée quand il ne reste que deux agents dans la liste, ils sont déclarés vainqueurs.

6. 1. Cycle de vie d'un SMA

Pour mettre en œuvre un SMA, il faut gérer globalement le cycle de vie des agents, la communication entre les agents et le contrôle des agents du système. Le cycle de vie d'un SMA est géré par un processus de management qui peut être centralisé même si le processus propre au SMA est distribué. Ce processus de management comporte :

- Une phase d'initialisation où les agents sont créés et initialisés. D'autres agents peuvent être créés ensuite si certains agents ont la possibilité d'en créer.
- Une phase de comportement qui consiste à transmettre les messages et à donner la possibilité aux agents du système d'exécuter leur comportement répétitivement jusqu'à ce qu'une condition d'arrêt soit rencontrée.
- Une phase de terminaison où tous les agents du SMA doivent être supprimés pour redonner un environnement propre. Tous les agents doivent donc être référencés, soit par le système, soit par un autre agent.

Le management du SMA peut référencer tous les agents dans une liste globale. Si ce n'est pas le cas, certains agents auront un comportement de management pour les agents qu'ils référencent et le comportement présenté ci-dessous doit être vu comme récursif sur tous les agents qui contrôlent d'autres agents.

Du point de vue conceptuel, un agent exécute continuellement une boucle de comportement indéfinie. Du point de vue du management, il va consommer du temps sur une machine pour s'exécuter et ce temps ne va pas être continu. Une fois les agents créés, la phase de comportement du SMA doit permettre ou simuler le comportement en parallèle de tous les

agents du système. En théorie, chaque agent pourrait s'exécuter sur une machine différente réservée à cet agent, le parallélisme serait effectif et le SMA n'aurait qu'à gérer les communications entre les agents. Pour que cette façon de faire soit équitable, il faut encore que toutes les machines aient les mêmes caractéristiques. En pratique, la boucle d'un agent ne s'exécute pas de façon continue, car d'autres agents ou d'autres processus tournent sur les mêmes machines. Un agent va donc exécuter un pas de comportement à chaque fois qu'il reçoit un signal pour s'éveiller. Le temps pendant lequel un agent s'exécute peut être déterminé par le processus qui l'a réveillé : il lui attribue un temps ou il l'arrête par un événement. Le temps pendant lequel l'agent s'exécute peut aussi être déterminé par l'agent lui-même, parce que ses tâches sont décomposées en phases ininterrompibles, ou parce qu'il fait tout ce qu'il a à faire dans le contexte. Il rend la main quand il a terminé.

Si plusieurs agents tournent sur la même machine, ils doivent se partager le temps disponible. Regardons trois manières de gérer les agents d'un SMA :

- 1- dans le même processus avec un contrôle programmé, la communication ayant lieu par des variables et des appels de fonctions
- 2- dans le même processus avec des sous processus (threads), la communication ayant lieu par des événements
- 3- dans des processus différents, la communication ayant lieu par des pipes ou des sockets.

6.1.1. Gestion d'un SMA par partage de temps

Pour gérer des agents par une boucle de programme, le contrôleur va maintenir à jour la liste des agents vivants et leur distribuer du temps d'exécution à tour de rôle. Le contrôle peut être spécifié par une double boucle de durée indéfinie :

```
Répéter tant qu'il y a des agents dans la liste
// un top d'horloge
Pour tous les agents i de 1 à (longueur liste)
Exécuter la boucle de l'agent i
```

L'exemple simple présenté ci-dessus permet de voir que cette méthode n'est pas équitable. Ce n'est pas une bonne simulation du parallélisme des boucles d'exécution si les agents vivent dans un monde partagé. Tous les agents sont sensés exécuter un pas de leur boucle en même temps au top d'horloge. Or les agents du début de la liste font des modifications du monde par leurs actions qui sont réalisées avant que les agents de la fin de la liste perçoivent le monde. On peut essayer de faire varier l'ordre dans lequel les agents ont la main :

```
Répéter tant qu'il y a des agents dans la liste
Faire une permutation aléatoire sur la liste
    Pour tous les agents i de 1 à (longueur liste)
Exécuter la boucle de l'agent i
```

Cette solution est plus équitable, mais elle n'est pas une bonne simulation du parallélisme car tous les agents ne voient pas le monde de la même façon au même moment (le début de leur activation est supposé être en même temps) puisque certaines actions ont eu lieu quand ils l'observent. Pour avoir une bonne simulation, il faut distinguer la phase de perception qui doit

être identique pour tous les agents, et la phase d'action qui doit se déclencher de manière aléatoire.

```
Répéter tant qu'il y a des agents dans la liste
Pour tous les agents i de 1 à (longueur liste)
Exécuter la perception et la délibération de l'agent i
Faire une permutation aléatoire sur la liste
    Pour tous les agents i de 1 à (longueur liste)
Exécuter l'action choisie par l'agent i si elle est encore
possible
```

Si on gère un SMA comportant des agents hétérogènes, les actions qu'ils peuvent faire vont dépendre du temps et le top d'horloge, au lieu d'être symbolique sera effectif. La durée des actions et entre les actions va être prise en compte et pour éviter des appels inutiles à des agents qui n'ont rien à faire, la liste des agents contient non seulement leur référence mais aussi la prochaine heure à laquelle ils doivent agir.

6.1.2. Gestion des agents par threads

Certains langages de programmation comme Java gèrent la pseudo simultanée de processus créés et arrêtés par un même programme. Ces pseudo processus sont appelés des threads (fils). En implantant chaque agent sous forme d'un thread, on délègue la gestion de la simultanée au runtime Java. On peut toutefois paramétrer la priorité entre les threads.

Un thread est un flot de contrôle séquentiel à l'intérieur d'un programme. Il va s'exécuter en parallèle avec le programme pour réaliser certaines tâches. Par exemple, l'affichage sur l'écran est la plupart du temps réalisée dans un thread séparé pour ne pas ralentir les calculs.

La méthode **start** d'un thread lance son exécution. Il passe dans l'état runnable. La méthode **run** d'un thread lui donne quelque chose à faire quand le runtime Java lui passe la main. On peut faire dormir un thread pendant un temps *t* par la méthode **sleep** (*t*). Il donne alors la main à un autre thread. Un thread s'arrête aussi quand il attend qu'une certaine condition soit remplie **wait** (), ou quand il est bloqué sur une opération d'entrée-sortie. Le prédicat **isAlive** permet de distinguer les threads dans l'état exécutable de ceux qui n'ont pas encore exécuté leur méthode **start**.

Un thread ne s'arrête pas par une méthode **stop** comme une Applet, mais parce que la méthode **run** s'arrête naturellement, ou parce que la variable du Thread a été mise à null (par la méthode **stop** de l'applet par exemple).

```
public void run () {
    int i = 0 ;
    While (i > 100) {
        System.out.println (« i = » + i++) ;
    }
}
```

```
public void run () {
```

```

Thread myThread = Thread.currentThread() ;
While (clockThread == myThread) {
    repaint() ;
    try {
        Thread.sleep(1000) ;
    } catch (InterruptedException e) {
    }}

```

6.1.3. Gestion des agents comme des processus autonomes

Chaque agent est défini par un processus comme il est enseigné dans les cours sur les SE à temps partagé (fork en Unix par exemple).

6. 2. Conception et implantation d'un agent

Le cycle de vie d'un agent de base comporte :

- une phase d'initialisation où ses variables d'état et ses caractéristiques propres prennent des valeurs.

- une boucle de comportement comportant 3 niveaux d'activité :
perception -> délibération -> action

- une phase de terminaison. Dans la phase de terminaison, un agent qui a créé d'autres agents doit s'assurer soit qu'ils se terminent avant lui, soit qu'un autre agent garde une référence sur ces agents pour pouvoir décider de leur terminaison en cas de besoin.

Lorsqu'un agent entre dans une organisation sociale (voir chapitre suivant), ce processus se complexifie car les agents doivent prendre des rôles dans des organisations, les assumer et les quitter. Le cycle de vie des organisations va fonctionner en parallèle avec le fonctionnement des agents, mais ce sont les agents qui le réalisent par leurs actions.

Il y a donc trois cycles de vie concomittants à gérer :

- celui du management du SMA
- celui des organisations
- celui des agents.

6. 3. Langages de communication

Plusieurs langages ont été proposés pour faciliter les communications entre les agents. Les plus connus sont KQML et ACL qui ont en commun de considérer les énoncés comme des actes, qui visent à accomplir ou à faire accomplir quelque chose. Ils décrivent les états des agents en termes d'attitudes mentales : savoir, croire, désirer, avoir l'intention de.

6. 3. 1. KQML (knowledge query and manipulation language)

Pour définir des protocoles de communication entre agents, on peut s'appuyer sur la théorie des actes de langage. C'est l'objet de KQML défini aux USA par la DARPA-KSE³ qui propose de définir ainsi un standard de communication pour les systèmes multi-agents. Un message asynchrone peut être décrit sous la forme suivante (Ferber p.331) :

(<id>) <émetteur> : <destinataire> << <énoncé>

id est un identificateur de message (codage direct ou indirect du temps)

émetteur est un agent qui prend la parole

destinataire est un agent, une liste d'agents, une description des destinataires ou **tous** pour les messages publics

énoncé est le corps du message, il doit comporter un contenu propositionnel et une force illocutoire.

Pour communiquer par messages, il faut définir des conventions et implanter les supports nécessaires à la transmission des messages. On définit trois couches :

- la couche communication qui met en place l'infrastructure physique et sociale pour que les messages soient transmis : support physique, système d'adressage, gestion du temps.

- la couche contenant qui définit le langage du message, l'ontologie de référence (qui correspond aux connaissances supposées partagées entre les agents), le type d'acte de langage utilisé, un identificateur de message.

- le contenu du message qui contient une expression dans le langage requis.

Ces trois couches se retrouvent dans les messages KQML mais pas dans cet ordre puisque le performatif introduit le message.

Exemple :

(ask-if

:sender A

:receiver B

// :to, :from en cas de renvoi

:langage Prolog

:ontology ÊtresHumains

:reply-with id1

// :in-reply-to

:content ami(Ned, Marco)

)

Les types de messages de KQML sont des, des instructions de routage « forward » et « broadcast », des instructions liées à l'implantation de la recherche de partenaires : « advertise », « recruit », « broker »... donc des instructions hétéroclites. Les actes performatifs de KQML relèvent de 3 catégories :

18 performatifs de discours, assez proches de la théorie des actes de langage, comme des requêtes : « ask-if », « ask-one », « stream-all » et des assertions « tell », « deny ».

11 performatifs d'interconnexion : register, unregister, broadcast, broker...

7 performatifs d'exception :

Error : le message est mal formaté

Sorry : on ne peut pas donner d'autre réponse

Standby : indiquer quand on est prêt à répondre

Ready

³ Knowledge Sharing Effort : www.cs.umbc.edu/kse/

Next : envoyer la réponse suivante

Discard : plus besoin des réponses au message indiqué

Cette liste de performatifs a été critiquée

1) pour son caractère arbitraire : les définitions des performatifs sont vagues, certains sont inutiles, d'autres manquent et il y a des incohérences.

2) pour son caractère compositionnel alors que chez Searle et Vanderveken, la force s'applique au contenu propositionnel, ici les deux composantes sont indépendantes.

3) pour son caractère monologique, car la définition des énoncés suppose que tous les agents fonctionnent avec les mêmes principes, et connaissent tous parfaitement le langage, et qu'un performatif fait toujours l'effet attendu.

KQML fonctionne comme un code, tout comme les langages de programmation.

6. 3. 2. Le format d'échange KIF

KIF est un format d'échange de connaissances entre des programmes proposé par ARPA-sponsored Knowledge Sharing Effort (www.cs.umbc.edu/kse/kif/). Il a une sémantique déclarative et une interprétation logique. Il permet la représentation des connaissances sur la représentation des connaissances, la représentation de règles de raisonnement non monotones et la définition d'objets, de relations et de fonctions. Il est compréhensible par les humains et par les machines. Il a été proposé comme interlangue pour la traduction.

La description de KIF comporte la description de sa syntaxe et de sa sémantique. Un objet est décrit par des tuples dont le premier élément est le type de l'objet, le deuxième un identifiant unique pour cet objet et ensuite des valeurs pour certains attributs.

ex : (salarié 015418974 yaourts 15000)

On peut aussi exprimer des relations comme des expressions Lisp :

(< (* (longueur rectangle1) (largeur rectangle1)) (* (longueur rectangle2) (largeur rectangle2)))

et des règles de raisonnement :

(=> (and (real-number ?x) (even-number ?n))

(> (expt ?x ?n) 0))

KIF est souvent associé à KQML, qui est produit par le même groupe. KIF exprime le contenu des propositions, et KQML l'attitude des agents à propos de ces propositions.

6. 3. 3. Le langage ACL de la FIPA⁴

Il est plus récent et il est aussi fondé sur la théorie des actes de langage. La syntaxe est assez proche de celle de KQML, par exemple :

(request

:sender (agent-identifiant :name i)

:receiver (set (agent-identifiant :name j)

:content (...)

:protocol fipa-request

:langage fipa-SL

⁴ www.fipa.org/spec/fipa99spec.htm

:reply-with order567

)

Il définit précisément la sémantique du contenu des messages (fipa-SL) et un protocole de communication. ACL définit

4 actes primitifs : inform, request, confirm et disconfirm.

18 actes composés, qui prennent des actes comme arguments : request-when, refuse, propose, reject-proposal...

A chaque acte est associée une finalité : transmettre une information, demander une information, négocier, accomplir une action, gérer un problème. La sémantique formelle du langage associe à chaque acte des préconditions, des postconditions et des conditions d'arrêt.

7. Les ontologies

Lorsque des agents construits par des équipes différentes doivent communiquer, ils faut qu'ils puissent se comprendre. Les agents réactifs communiquent par l'intermédiaire des actions qu'ils font dans le monde physique, et ils peuvent s'ajuster par ce moyen. Les agents rationnels, qui n'ont pas de possibilités de perception et d'action, doivent s'accorder à partir d'une description du monde qu'ils partagent. Les agents cognitifs situés peuvent s'accorder au départ par l'intrmédiaire de leur rapport au monde, mais la construction d'ontologies peut résulter d'une négociation sur les pratiques individuelles pour construire un terrain d'entente.

En IA, on appelle **ontologie** la spécification des objets, des concepts, des classes, des fonctions et des relations d'un domaine. C'est une définition technique, car la définition du dictionnaire correspond à l'usage du terme en philosophie, qui est : « étude de l'être en tant qu'être, sans tenir compte de ses déterminations particulières »⁵. L'ontologie est une description de la nature des choses indépendamment de la représentation intuitive qu'on en a. Elle s'appuie sur l'observation et l'investigation pour arriver à des résultats qui vont quelquefois contre le sens commun mais dont chacun peut se persuader pour lui-même, indépendamment des arguments d'autorité ou des conventions sociales.

L'ontologie est - implicitement au début - à la base des représentations utilisées en intelligence artificielle comme les réseaux sémantiques et les graphes conceptuels, elle permet de décrire les concepts et leurs rapports indépendamment d'une application particulière. Le travail explicite sur l'ontologie a été le ressort du projet CYC (Lenat, 1991). La première ontologie construite à grande échelle et avec une visée universelle est le projet CYC de Lenat et Guha, qui comportait 100000 termes au bout de 10 ans de développement : le temps et les dates, l'espace, les quantités, les mathématiques, les changements d'état, les actions, les émotions, les professions, les rôles sociaux...

Par exemple, dans le monde des blocs, l'ontologie comporte

- la définition d'une classe de blocs et de leur propriétés : forme, taille, couleur. Les blocs sont des objets physiques.

(class Bloc)

(class ObjetPhysique)

(subclassOf Bloc ObjetPhysique)

(attribute Color)

⁵ 1998 Encyclopædia Universalis France S.A.

(domain Color ObjetPhysique)
(range Color { bleu, vert, jaune, rouge })
...
- la définition d'une relation entre blocs : Sur
qu'on peut exprimer par :
(relation Sur)
(domain Sur ObjetPhysique)
(range Sur ObjetPhysique)
- la définition des actions possibles sur les blocs :
(action Poser Bloc Bloc)
avec les préconditions et post-conditions associées

Les ontologies spécifiques sont utilisées dans une grande variété de domaines : bases de connaissances, mémoires d'entreprises, traitement des langues naturelles, recherche d'information, agents.

Pour communiquer, les agents doivent partager une ontologie. Une ontologie abstraite ou formelle, correspondant à une spécification, peut être représentée explicitement avec un langage de description comme ci-dessus, ou en Prolog ou en CLIPS. Le choix des classes et leur structure, dans un langage à objets, est déterminé en première instance par une ontologie (et en deuxième instance par des critères de Génie Logiciel). Ainsi, un agent peut suivre une ontologie parce qu'elle est codée implicitement dans cet agent, parce que le monde de l'agent comporte les classes et les objets comme constructions de programmation (C++, Java), et l'agent fonctionne alors selon les termes de cette ontologie sans le savoir. Si les agents d'un SMA partagent une ontologie implicite codée dans les agents, elle est immuable et ne peut pas évoluer avec l'activité des agents. Pour qu'une ontologie soit une connaissance partagée, elle doit être explicite et être exprimée dans un langage ou un formalisme partagé. En couplant Java et JESS, on peut avoir simultanément les avantages des deux modes de représentation.

L'ontologie, qu'elle soit implicite ou explicite, est le support de l'acquisition des connaissances et de l'apprentissage des agents. Si l'ontologie est explicite, et si deux agents partagent au moins les nœuds supérieurs d'une ontologie, ils peuvent négocier le sens des autres termes en les situant par rapport à cette connaissance partagée.

L'ontologie est aussi un outil utile pour interfacier les agents logiciels et les agents humains.

La catégorisation

Construire une ontologie est le résultat d'une activité de catégorisation partagée. Décrire la nature des choses, c'est d'une part les classer, trouver des critères de ressemblance ou de différenciation, et d'autre part, définir des concepts qui rendent compte de propriétés communes à des objets qui ne sont pas dans les mêmes classes, ou qui permettent de les discriminer. Par exemple,

1)- on peut regrouper tous les animaux qui volent dans la classe des oiseaux, c'est en général ce que font les enfants. Les chauves-souris en font partie, mais pas les mouches, car dans le langage ordinaire, les insectes ne sont pas des animaux, ce sont des bêtes. C'est une catégorisation en terme de différences sur le mode de locomotion et pas en termes de conditions nécessaires et suffisantes.

2)- on peut définir le concept de couleur d'une part pour rendre compte du fait d'un stylo rouge et un oiseau rouge ont quelque chose en commun. D'autre part, le concept de couleur discrimine les choses qui ont une couleur - les choses matérielles - de celles qui n'en ont pas - les événements, les nombres...

La catégorisation est une des activités mentales les plus primitives des êtres vivants. Elle leur permet de distinguer dans le continuum des sensations les situations utiles ou nuisibles, de distinguer des objets comestibles des autres, les amis des ennemis... La catégorisation s'appuie sur la perception de différences entre les choses, qui est une amorce de mémoire, et les catégories se construisent donc dans la mémoire par différenciation des sensations à partir du magma originel qui contient tout et n'importe quoi (anything en anglais). L'activité de la mémoire transforme les sensations en perceptions et permet à l'être vivant de se maintenir en vie. La notion de catégorie se réfère donc d'abord à une activité du sujet qui cherche à mettre de l'ordre dans l'univers de ses perceptions en construisant des images mentales à partir de caractéristiques permanentes. Elle se réfère ensuite à la reprise collective de ces images mentales dans les sociétés humaines pour en faire des concepts partagés par une communauté. Les langues sont le premier lieu de cette reprise sociale des catégorisations individuelles. Le travail philosophique et scientifique vient ensuite. Aristote ainsi a cherché à classer les « êtres » en fonction de leurs propriétés intrinsèques ou ontologiques, comme sujets de la prédication (Aristote, 1969). Il souligne que seuls des attributs à valeurs discrètes peuvent permettre de faire des distinctions conceptuelles⁶. À l'intérieur des catégories, les différences accidentelles, celles qui portent sur les valeurs des attributs mesurables comme le poids, la taille, la fréquence sont le support des classifications de type prototypique ou statistique. Remarquons que l'existence de ces attributs peut être un critère de différenciation entre des classes conceptuelles, mais que les valeurs prises par ses attributs dans les objets particuliers n'en sont pas. Kant reprend l'analyse d'Aristote pour l'approfondir et fait de la catégorisation le fondement du jugement (Kant, 1781) ; donner aux machines des capacités de catégorisation devrait donc permettre de leur donner des capacités de jugement.

Comment permettre aux agents de comprendre des phénomènes dont il n'ont pas la connaissance par l'activité sensori-motrice ? en construisant un analogue machine des catégories. Les réseaux sémantiques et des graphes conceptuels fondent la description des catégories en terme de conditions nécessaires et suffisantes, avec un point de vue ensembliste, comme dans les taxonomies des sciences de la nature. Les ontologies ont ensuite développé des bases de connaissances partagées principalement pour des pratiques de métier.

Dans le domaine des SMA, Ontolingua est un ensemble de programmes écrits en Common Lisp pour analyser et traduire des ontologies. Il utilise KIF comme interlangue et il est portable pour plusieurs systèmes de représentation. Il comporte un analyseur-vérificateur de la syntaxe de KIF, un outil de références croisées, un outil de rapports en HTML. La FIPA (www.fipa.org) propose aussi des spécifications pour les technologies agent afin de favoriser l'interopérabilité des agents construits par des équipes différentes.

⁶ Dans une perspective constructiviste, notons que les attributs que nous attribuons aux objets sont la résultante de nos interactions sensori-motrices avec eux, et que la discrétisation des valeurs de certains attributs est autant le résultat des distinctions conceptuelles qu'elle n'en est le préalable, l'exemple de la couleur est révélateur de coupures culturelles opérées par les langues dans un signal continu.

7. Bibliographie

Bruno Bachimont, Le contrôle dans les systèmes à base de connaissance, Hermès

Enjelmores, Blackboards Systems, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts 1988

Jacques Ferber, « Les systèmes multi-agents. » Interéditions 1995

Jagannathan & al. Blackboards Architectures and Application, Academic Press INC, 1989

Marvin Minsky, La société de l'Esprit. Interéditions 1988

Readings in Distributed Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann publishers, Los Altos.

Actes des journées IAD-SMA, dont les années 97, 98, 99, 2000, 2001 sont publiées chez Hermès

Multiagent Systems, a modern approach to distributed artificial intelligence, edited by
Gerhard Weiss, The MIT Press 1999

Principes et architecture des systèmes multi-agents, sous la direction de Jean-Pierre Briot et
Yves Demazeau, Hermès, 2001