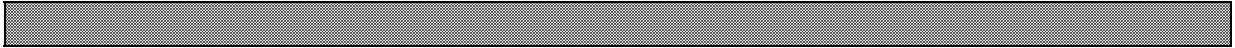


INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DISTRIBUEE
ET
SYSTEMES MULTI-AGENTS



Support de cours : extrait de mon mémoire de thèse de doctorat (partie état de l'art)

N. KABACHI

1 INTRODUCTION

L'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) est au carrefour de plusieurs disciplines, telles que la psychologie cognitive, la sociologie, la biologie, et l'informatique. Ces études sont utilisées entre autre pour modéliser et construire des systèmes informatiques dans lesquels les capacités de traitement, de représentation et de raisonnement sont distribuées dans un ensemble de sous-systèmes appelés agents. L'ensemble de ces agents constitue une société appelée Système Multi-Agents. Selon les ressources de chacun, les agents interagissent entre eux pour construire des directives en vue de la résolution de problèmes.

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu de ce que sont les systèmes d'intelligence artificielle distribuée et multi-agents. Nous insisterons sur des aspects importants pour ces systèmes tels que l'architecture des agents, l'interaction et coopération, la communication, l'organisation, etc.. ces concepts font partie des apports. Puis, notre analyse se focalisera sur le concept de connaissance en terme d'acquisition de formalisation et de représentation. Enfin, nous décrirons les apports de l'approche SMA aux systèmes complexes telles que les organisations productives et vice versa.

2 L'UNIVERS DE L'IAD ET SMA

2.1 Introduction à l'IAD

L'Intelligence Artificielle (IA) est reconnue comme étant une discipline informatique qui a pour objectif de modéliser ou de simuler des comportements humains dits intelligents tels que la perception, la prise de décision, la compréhension, l'apprentissage, etc. Elle s'attache à la construction de programmes informatiques, capables d'exécuter des tâches complexes, en s'appuyant sur une centralisation et une concentration de l'intelligence au sein d'un système unique. Mais l'IA a vite rencontré un certain nombre de difficultés, dues pour la plupart à la nécessité d'intégrer, au sein d'une même base de connaissances, l'expertise, les compétences et les connaissances d'individus différents qui, dans la réalité, communiquent et collaborent à la réalisation d'un but commun.

L'Intelligence Artificielle Distribuée¹ (IAD) [Bond & Gasser, 88 ; Huhns, 87 ; Erceau & Ferber, 91, Ferber, 95] est née, au début des années 80, de la volonté de remédier aux insuffisances et d'enrichir l'approche classique de l'IA en proposant la distribution de l'expertise sur un groupe d'agents, non soumis à un contrôle centralisé, devant être capables de travailler et d'agir dans un environnement commun et de résoudre les conflits éventuels. En résumé, l'IAD s'intéresse entre autre à la modélisation de comportements intelligents qui sont le produit de l'activité coopérative entre plusieurs agents, d'où la réalisation des systèmes dits « *multi-agents* ».

¹ A. Bond et L. Gasser [Bond & Gasser, 88] ont fait une bonne présentation des travaux menés dans ce domaine jusqu'en 1988. Parmi ces travaux on peut citer ceux de F. Hayes-Roth, V. Lesser, Corkill, L. Erman, W. Kornfeld, C. Hewitt,..

On appelle *SMA un système* $\langle O, E, A \rangle$ où O est un ensemble d'objets, A est un ensemble composé d'agents, O et A étant immergés dans un environnement E [Erceau & Ferber, 93].

Yves Demazeau [Demazeau, 95] met l'accent sur deux autres axes caractérisant les SMA : *Interactions* et *Organisations*. Il découpe les SMA en quatre axes (équation 1), que nous développerons tout au long de ce chapitre:

$$(1) \text{ SMA} = \text{Agents} + \text{Environnement} + \text{Interactions} + \text{Organisations (AEIO)}$$

Nous tacherons, par la suite de donner notre vision des systèmes multi-agents, en nous basant sur l'approche dite « *Vowels* » (1) de Y. Demazeau, et en analysant d'autres aspects importants tels que la coopération et la résolution de conflits.

Selon Gasser¹, une société d'agents est constituée de trois éléments : un ensemble d'agents, un ensemble de tâches à réaliser, et un ensemble d'objets associés à l'environnement. Un agent peut prendre la responsabilité d'effectuer une tâche s'il en a la capacité. Il prend alors un rôle dans le groupe. La réalisation d'une tâche suppose la manipulation d'objets de l'environnement.

Ainsi, les systèmes multi-agents permettent de modéliser le comportement d'un ensemble d'entités plus ou moins expertes, plus ou moins organisées selon des lois de type social. Ces entités ou agents disposent d'une certaine autonomie, et sont immergées dans un environnement dans lequel et avec lequel elles interagissent. D'où leur structure autour de fonctions principales : de perception, de décision, d'action, de communication, de négociation, ...

2.2 Différents types d'agents

Les systèmes multi-agents sont en général classés en deux principales familles : les systèmes cognitifs et les systèmes réactifs. Contrairement aux systèmes réactifs, les systèmes cognitifs se rapprochent le plus du modèle de sociétés d'experts. Chaque agent cognitif a une représentation explicite de croyances, d'intentions, d'actes de langages, de modèles des autres agents, etc..

2.2.1 Agent cognitif vs réactif

La notion d'agent a été définie par plusieurs auteurs (tels que Demazeau & Müller, 90 ; Minsky, 94 ; Ferber, 95 ; Castelfranchi, 90 ; Shoham, 93, etc..). Comme le souligne C. Hewitt, la question « qu'est-ce qu'un agent ? » est aussi embarrassante que la question « qu'est-ce que l'intelligence ? ». Pour cela nous préférons éviter de formuler notre propre définition, nous donnerons une synthèse de toutes celles déjà données.

Pour Y. Demazeau et J.P. Müller, un agent est une entité intelligente, agissant rationnellement et intentionnellement, en fonction de ses buts propres et de l'état actuel de sa connaissance. J. Ferber le qualifie d'entité réelle ou abstraite qui est capable d'agir sur-elle même et sur son environnement, qui dispose d'une représentation partielle de cet environnement, qui, dans un système multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents, et

¹ [Gasser, 88 ; 90]

dont le comportement est la conséquence de ses observations, de sa connaissance, et des interactions avec les autres agents.

D'autres auteurs [Cohen & Levesque, 88 ; Wooldridge & Jennings, 95 ; etc.] définissent un agent en terme d'état mental², qui fait référence aux notions de croyances, connaissances, engagements vis-à-vis de lui même et des autres agents, etc..

Les systèmes multi-agents font la distinction entre « agents cognitifs³ » et « agents réactifs⁴ » : les agents cognitifs disposent d'une base de connaissances comprenant les diverses informations liées à leurs domaines d'expertise et à la gestion des interactions avec les autres agents et leur environnement. Les agents sont généralement « intentionnels » c'est-à-dire qu'ils possèdent des buts et des plans explicites leur permettant d'accomplir leurs buts. Dans ce cadre, comme le précise J. Ferber, les problèmes de coopération ressemblent étonnamment à ceux de petits groupes d'individus, qui doivent coordonner leur activité, et sont parfois amenés à négocier pour résoudre leurs conflits.

Les agents réactifs au contraire ne sont pas « intelligents » pris individuellement. Ils ne peuvent que réagir à des stimuli simples provenant de leur environnement, et leur comportement est alors simplement dicté par leur relation à leur entourage sans que ces agents ne disposent d'une représentation des autres agents ou de leur environnement. Cependant, du fait, de leur nombre, ces agents réactifs peuvent résoudre des problèmes qualifiés de complexes (cf. fig. II. 1 qui résume ces différences). Les travaux sur ces agents s'intéressent plus à la modélisation d'une société d'agents qu'à l'agent lui-même. Les analogies que les chercheurs ont établi sont celles de la vie artificielle, de l'éthologie (la fourmilière, la termitière, la ruche d'abeille), etc..

AGENTS COGNITIFS	AGENTS REACTIFS
Représentation explicite de l'environnement	Pas de représentation explicite
Peut tenir compte de son passé	Pas de mémoire locale
Agents complexes	Fonctionnement stimulus/action
Nombre d'agents réduit	Nombre d'agents élevé

Figure II. 1: Les agents cognitifs vs réactifs [Reichgelt, 90]

2.2.2 Agent hybride

En général, la différence entre des agents réactifs et des agents cognitifs peut être expliquée par le compromis efficacité/ complexité. La complexité des systèmes réactifs exige le développement de nouvelles théories dans le domaine de la coopération, de la communication et de la compréhension de nouveaux phénomènes telles que l'émergence. Toutefois, il est maintenant possible de concevoir des systèmes hétérogènes comportant les deux types de comportements (cognitif et réactif) : on parlera alors d'agents hybrides.

² Ce qui rejoint d'ailleurs la définition de Y. Demazeau et J.P. Müller.

⁴ On peut citer les travaux de [Braganza & Gasser, 87 ; Vere & Bickmore, 90 ; Bussmann & Demazeau, 95 ; Ocelllo & Demazeau, 95 ; etc..].

⁴ Parmi les travaux sur les agents réactifs, on trouve ceux de [Drogoul, 92 ; Brooks, 89 ; Agre & Chapman, 87 ; Ferber, 89 ; Bura, & al., 91].

Dans ce sens, nous pouvons citer les travaux⁵ de [Ferguson, 92 ; Muller & Pischel, 94 ; Bussman & Demazeau, 94]. La majorité des modèles d'agents hybrides présentés par ces auteurs, propose de décomposer chaque agent en différents modules réactifs et cognitifs avec un module spécifique qui contrôle l'activation des autres modules. Cette approche est intéressante et semble apporter une solution adéquate pour modéliser les systèmes complexes dont l'environnement est dynamique, mais elle ne résout pas clairement le problème d'interaction entre les différents modules. Le problème, pour M.J. Wooldridge et N.R. Jennings [Wooldridge & Jennings, 95], est alors de définir les mécanismes et les stratégies du module de contrôle interne de l'agent pour soit gérer les interactions entre ses différents modules, soit imposer un séquençement temporel global interne à l'agent.

2.2.3 Discussion

Dans le cadre de ce mémoire, les agents dont il sera question, sont cognitifs, avec des capacités (cf. chap. IV) :

- de raisonnement sur des problèmes globaux et sur autrui,
- de communication avec les autres,
- d'autonomie d'action et de décision.

Nous avons déjà évoqué le concept d'autonomie dans les organisations productives (chap. I), nous allons, maintenant, voir *Qu'est ce que l'autonomie d'un agent ?* Un agent peut être doté d'une caractéristique lui permettant de réagir par les lois qu'il a lui même édictées. Cette caractéristique, qui peut être aussi synonyme d'auto-contrôle, est appelée *autonomie*. Dans la littérature, nous trouvons souvent ce terme associé à au moins quatre significations très différentes [Sichman, 95] :

⇒ *autonomie par rapport à la conception*, dans ce contexte, un agent est autonome s'il a une existence propre, indépendamment de l'existence des autres agents [Demazeau, & Muller, 90].

⇒ *autonomie par rapport à l'environnement*, un agent autonome est un agent censé fonctionner dans des environnements dynamiques et incertains, qui ne peuvent être souvent perçus que de façon imparfaite, qui peuvent changer suite à des actions qui ne sont pas contrôlées par l'agent lui même et sur lesquels les effets de ses actions ne sont pas toujours prévisibles [Nilsson, 94].

⇒ *autonomie par rapport à ses propres buts*, un agent autonome est un agent qui peut atteindre ses buts tout seul. Il n'a pas besoin a priori de coopérer avec d'autres agents. Et s'il décide de le faire, c'est à cause d'une amélioration possible de performance .

⇒ *autonomie par rapport à ses motivations*, un agent autonome est un agent qui a le libre choix pour interagir socialement. C'est à partir du contenu de son état mental qu'il décide de coopérer ou non, etc..[Castelfranchi, 90].

Cet auteur a proposé des propriétés pour caractériser un agent autonome :

- un agent autonome à ses propres buts ;
- il est capable de prendre des décisions concernant ses propre buts ;
- il est capable de décider de façon autonome quand il doit adopter les buts des autres agents;
- il considère l'action sociale d'adopter les buts des autres comme un moyen d'atteindre ses propres buts ;

⁵ M. Rodriguez, 94 a présenter un bon état de l'art sur les modèles d'agents hybrides.

- il contrôle l'acquisition de ses croyances et leur crédibilité par rapport à ses croyances courantes.

Par rapport à notre problématique et à l'aspect que nous voulons aborder (la prise de décision dans les organisations productives), nous conservons pour nos agents les propriétés proposées par C. Castelfranchi⁶.

2.3 Architecture d'agent cognitif

Un agent cognitif dispose naturellement d'une architecture plus élaborée que celle d'un agent réactif. Mais la division cognitif/réactif n'épuise absolument pas le débat sur les architectures. D'abord parce qu'il existe une vaste gamme (fig. II. 2) aussi bien pour les agents cognitifs et réactifs, mais surtout parce que nous pouvons très bien réaliser des agents réactifs à partir d'architectures initialement destinées à des agents cognitifs et vice versa [Ferber, 95].

Type d'architecture	Approche	Type de composant	Structure de subordination
<i>Modulaire horizontale</i>	Fonction horiz.	Module	Hiérarchique
<i>Tableau noir</i>	Fonction	Tâche	Hiérarchique (méta)
<i>Subsomption</i>	Fonct. vert.	Tâche primitive	Hiérarchique
<i>Tâches compétitives</i>	Fonct. vert.	Tâche + actions primitive	Hiérarchique (compétition)
<i>Règles de production</i>	Fonct.	Règle	Hiérarchique (méta)
<i>Classifieurs</i>	Fonct. vert.	Règle	Hiérarchique
<i>Connexioniste</i>	Fonct. vert.	Neurone formel	Egalitaire
<i>Système dynamique</i>	Fonct. vert.	Relation stimuli-commande	Egalitaire
Multi-agents	Objet/fonc.	Agent	Egalitaire

Figure II. 2 : Principales architectures d'agents [Ferber, 95]

La plupart de ces architectures peuvent s'appliquer à des agents aussi bien cognitifs que réactifs. Néanmoins, il faut tempérer cette affirmation en reconnaissant que certaines architectures, telles que les systèmes à base de tableau noir sont exclusivement réservées aux agents cognitifs, alors que les architectures de subsomption sont utilisées pour des agents réactifs.

L'architecture la plus répandue dans les SMA est l'architecture modulaire [Ferber, 95]. Elle est conçue comme un assemblage de modules par des connexions préétablies, chacun de ces modules réalise une fonction horizontale particulière. Les modules les plus courants sont :

⁶ Sous une certaine réserve, car nos agents dans leurs prises de décisions doivent aussi tenir compte des rationalités du méta-niveau.

① Les fonctions perceptives et motrices s'il y a lieu; ② L'émission et l'interprétation des communications; ③ La base de croyances comprenant la modélisation de l'environnement et des autres agents; ④ La gestion des engagements; ⑤ Les expertises du domaine de compétences; ⑥ La gestion des buts et la prise de décision; ⑦ La planification des actions.

2.4 Description d'une société d'agents

Que les agents s'apparentent peu ou prou à la famille des agents réactifs ou à la famille des agents cognitifs ou même hybrides, la réalisation d'un système multi-agents pose deux questions fondamentales :

❶ *comment faire communiquer, interagir et coopérer les agents entre eux ?* ou quels types de communication, de protocoles ou de langages utiliser ? comment gérer les synchronisations et la cohérence des informations qui circulent entre les agents ?

❷ *comment organiser le système ?* ou comment organiser la distribution des tâches selon les agents et le contrôle de la résolution globale du problème ? En effet, il n'existe pas de théories des organisations qui permettent de décider en fonction de l'application quelle forme d'organisation, quelles interactions entre agents... adopter⁷.

Nous allons tenter de répondre à ces questions en présentant différents points de vue concernant les aspects interactionnels, organisationnels, ..., d'une société d'agents.

2.4.1 Interaction et Coopération entre agents

Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Pour un agent, interagir avec un autre constitue à la fois la source de sa puissance et l'origine de ses problèmes [Ferber, 95].

La coopération est la forme générale de l'interaction. Plusieurs études en IAD se sont attachées à la définir, mais l'ensemble de ces études est plutôt hétéroclite et il règne une certaine confusion sur la signification et la mise en oeuvre de la coopération [Bouron, 92]. La coopération doit-elle être définie en termes de buts [Durfee & al., 91], de stratégies [Cammarata & al., 83], de formes [Davis, 80] ? Désigne-t-elle un comportement [Demazeau & Muller, 90], une posture [Galliers, 88]⁸ ? De plus, la définition de la coopération est généralement subordonnée aux concepts de coordination, d'organisation, de communication, et de négociation.

Ces travaux concernent des aspects de la coopération assez différents, il ne se situent pas les uns par rapport aux autres, et ne s'accordent pas sur un vocabulaire donné⁹. De plus la coopération est un lieu privilégié de convergence de nombreuses disciplines. De ce fait, il n'est pas évident d'en extraire une définition générale de la coopération, ce qui nous pousse à la traiter par rapport à notre problématique.

⁷ E. Le Strugeon en 95 a proposé une bibliothèque de modèles d'organisation, mais qui ne correspond pas vraiment à toutes les applications.

⁸ A ce propos T. Bouron [Bouron, 93] a fait une synthèse intéressante de ces travaux.

⁹ Mais ces travaux n'en demeurent pas moins intéressants individuellement.

Le sociologue, K. Schmidt [Schmidt, 91] considère que les être humains coopèrent à cause de leurs capacités limitées. Pour lui, nous coopérons puisque nous ne pouvons pas accomplir une tâche individuellement ou puisque nous ne la réalisons pas rapidement et efficacement. La psychologie quant à elle [Savoyant, 84] utilise deux conditions pour définir la coopération : « *Les sujets doivent avoir le même objectif et chaque sujet doit voir le produit final comme la somme, la composition ou la combinaison des produits partiels de son ou de ses actions et de celles des autres sujets* ».

La plupart des travaux traitant de la coopération portent sur l'intérêt qu'il y a ou non à coopérer avec autrui ou sur la manière de communiquer dans les groupes. Mais alors que ces travaux mettent l'accent sur les structures du collectif, sur les relations affectives qui amènent les acteurs à coopérer et à travailler ensemble, J. Erceau souligne que l'approche IAD-SMA reformule le problème en mettant en avant les caractéristiques cognitives et comportementales nécessaires à la mise en oeuvre d'un travail collectif. Durfee [Durfee et al., 91] proposent quatre buts génériques de coopération¹⁰ :

- Augmenter la vitesse de résolution des tâches par leur parallélisation ;
- Augmenter le nombre ou la portée des tâches réalisables par le partage de ressources ;
- Augmenter la probabilité d'achever des tâches par leur duplication et si possible par l'utilisation de méthodes différentes pour les réaliser ;
- Diminuer l'interférence entre tâches en évitant les interactions négatives.

J. R. Galliers [Galliers, 88] s'est intéressée à la nature et au rôle de ce qu'elle appelle postures propositionnelles qui regroupent les conflits, la coopération et l'indifférence. Ces postures connotent un but en caractérisant des types de relations sociales entre plusieurs agents et une proposition. « La coopération existe entre deux agents par rapport à une proposition quand un agent reconnaît que l'autre agent a pour but la réalisation de cette proposition et qu'il s'est engagé à résoudre ce but comme un but commun, en relation avec les autres agents qui l'ont aussi pour but et ceci suite à un choix délibéré. Ainsi la coopération existe entre deux agents par rapport à une proposition, si au moins un des deux agents est engagé dans la réalisation de cette proposition en rapport avec les autres agents pour qui elle constitue un but et, ceci, suite au fait qu'ils croient avoir un but commun.. »¹¹. Cette définition introduit trois conditions nécessaires à la coopération : reconnaître le but d'un autre agent, s'impliquer dans sa résolution en l'adoptant comme son propre but de façon délibérée et le considérer comme un but commun.

2.4.1.1 Modèles de coopération

Pour A. Vailly et M.A. Simon [Vailly & Simon, 87] , un agent peut coopérer suivant les modèles suivant :

⇒ *Coopération par partage de tâches et de résultats* : le partage de tâches nécessite de pouvoir décomposer le système initial en un ensemble de sous-problèmes pouvant être traités de façon indépendante et avec un minimum de communications entre agents. Ce type de

¹⁰ Tiré du livre « systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception » B. Pavard. Editions OCTARES 1994.

¹¹ Tirée de [Erceau & al, 94] J. Erceau, L. CHAUDRON, J. FERBER et T. BOURON. *Systèmes personne(s)-machine(s) : patrimoines cognitifs distribués et mondes multi-agents, coopération et prise de décision collectives*. Pavard Système coopératifs de la modélisation à la conception, 1994.

coopération semble particulièrement adapté pour les domaines où il existe une hiérarchie de tâches ou de niveaux d'abstraction. Dans le cas où une telle indépendance des sous-problèmes n'existe pas il faut procéder par partage de résultats. Le partage de résultats n'exige pas de mécanismes de décomposition ; cette méthode est particulièrement utile dans des domaines où les résultats obtenus par un agent influencent ou contraignent fortement ceux des autres agents du système.

⇒ *Commande* : un agent supérieur décompose le problème en sous-problèmes qu'il répartit entre les autres agents, ceux-ci le résolvent et renvoient les solutions partielles à l'agent supérieur.

⇒ *Appel d'offre* : un agent supérieur décompose le problème en sous-problèmes dont il diffuse la liste. Chaque agent qui le souhaite envoie une offre ; l'agent supérieur choisit parmi celles-ci et distribue les sous-problèmes. Le système travaille ensuite en mode commande.

⇒ *Compétition* : dans ce mode coopération, l'agent supérieur décompose et diffuse la liste des sous problèmes comme dans le mode appel d'offre, chaque agent résout un ou plusieurs sous-problèmes et envoie les résultats correspondants à l'agent supérieur qui à son tour fait le tri.

2.4.1.2 Coopération dans les organisations productives

Parallèlement à ce que nous venons de dire sur la coopération dans les SMA, la coopération dans les organisations productives prend une signification particulière, lorsqu'un centre de décision prend une décision, il agit sur les contraintes d'autres centres de décisions (voir modèle Méta2, chap. I § 5). Dans cette optique, une décision apparaît comme un contrat qui est proposé et vis-à-vis duquel il y a engagement de la part de celui qui l'accepte. Ceci conduit, comme le précise J. Erschler [Erschler, 96], à envisager la coordination entre centres de décisions comme un processus de négociation de contraintes. De plus, sachant que tout système de décision est incomplet, il nécessite l'évaluation de son environnement par un décideur, ainsi que des échanges entre décideurs [Cohendet & Llerena, 90]. Cependant l'existence de choix local peut conduire à des décisions incohérentes avec celles prises par les autres centres de décisions ; de plus, l'interdépendance des décisions prises peut entraîner une propagation de cette incohérence au niveau du système global de production [Huguet & al., 96]. Cette manière de voir la structure décisionnelle oblige à s'intéresser aux modalités de coopération entre agents répartis dans plusieurs centres : comment s'établissent les échanges et les communications ? Comment se construisent les compromis conduisant à des décisions ? Quelle est la nature des interactions entre centres ? Quelles sont les modalités de négociation entre plusieurs centres de décision ? Ceci fera l'objet du chapitre IV.

2.4.2 Communication

La *communication*¹² désigne l'ensemble des *processus physiques et psychologiques* par lesquels s'effectue l'opération de mise en relation d'un émetteur avec un ou plusieurs récepteurs, dans l'intention d'atteindre certains objectifs [Anzieu & Martin, 68]. Elle est considérée comme une forme d'action particulière qui, au lieu de s'appliquer à la transformation de l'environnement, agit sur (modifie) les représentations mentales des agents

¹² Les travaux de Searle, 69 et Cohen et Levesque, 90 sur la théorie de la communication sont très intéressants, ils s'intéressent à la communication humaine.

(buts, croyances, etc..). Comme le confirme J. Erceau et J. Ferber, la communication dans l'univers multi-agents n'est plus une simple tâche d'entrée-sortie, mais doit être modélisée comme un acte pouvant influencer sur l'état des autres agents.

De ce fait, les processus physiques désignent les mécanismes d'exécution des actions (l'envoi et la réception de messages), les processus psychologiques se rapportent aux transformations opérées par les communications sur les buts et les croyances des agents.

Au sens de Ferber, la communication est un moyen ou une méthode de coopération (d'interaction), à côté de la :

- collaboration qui s'intéresse à la manière de répartir le travail et les ressources entre plusieurs agents ;
- coordination d'actions qui analyse la manière dont les actions des différents agents doivent être organisées dans le temps et l'espace de manière à atteindre les objectifs ;
- résolution de conflit par arbitrage et négociation en établissant par exemple des compromis, etc..

Les théories de la communication disponibles (ex. [Searle, 69], [Cohen & Levesque, 90]) ont pour but d'expliquer et de justifier la communication humaine. D'après T. Bouron [Bouron, 92], leur complexité et leur haut niveau d'abstraction sont tels qu'elles ne peuvent s'appliquer aux agents réalisés en informatique. Il rajoute que les facilités de communication sont par conséquent développées dans la plupart des systèmes multi-agents, sans fondement théorique. Elles sont dépendantes du domaine d'application.

Voyons maintenant, pourquoi les agents communiquent ? quand ? comment ? et avec qui ?

⇒ **Pourquoi communiquer ?** les agents communiquent et interagissent pour synchroniser leurs actions et pour résoudre des conflits, qui sont des conflits de ressources, de buts ou d'intérêts. Ils communiquent également pour s'aider mutuellement ou, comme le souligne J. Ferber, pour suppléer aux limites de leurs champs de perception. En effet, un agent ne peut être en relation avec tous les autres, ni équipé de tous les capteurs nécessaires à la connaissance de l'environnement.

⇒ **Quand et avec qui communiquer ?** Pour répondre à cette question, il faut identifier les situations qui vont nécessiter la communication des agents. En général, les agents communiquent lorsqu'ils sont face à un problème qu'ils ne savent pas résoudre (soit par manque de compétences ou de ressources), lorsqu'il est nécessaire de coordonner leurs actions, ou encore lorsqu'il y a un conflit entre plusieurs agents et que le conflit ne peut pas être résolu de façon déterministe. Les communications peuvent être diffusées à l'ensemble des agents ou à des agents particuliers (des agents susceptibles d'être intéressés par le message).

⇒ **Comment communiquer ?** Les procédures de communication pour véhiculer les messages (qui sont porteurs d'informations ou d'actions) entre agents sont la communication par envoi de messages, la communication par partage d'informations :

2.4.2.1 Communication par partage d'informations

C'est historiquement, le premier modèle de communication qui est apparu au début des années 60 [Newell, 62]. Le parangon des structures centralisées est le « tableau

noir » [Hayes-Roth 85], où la mémoire partagée est vue comme un tableau sur lequel les agents écrivent, trouvent des réponses partielles, des informations. Le tableau noir est divisé en niveaux. Les agents travaillant à un niveau particulier d'abstraction ont accès à un niveau correspondant dans le tableau. Un dispositif de contrôle gère les conflits d'accès au tableau, les agents faisant les demandes d'accès de manière autonome (fig. II. 3).

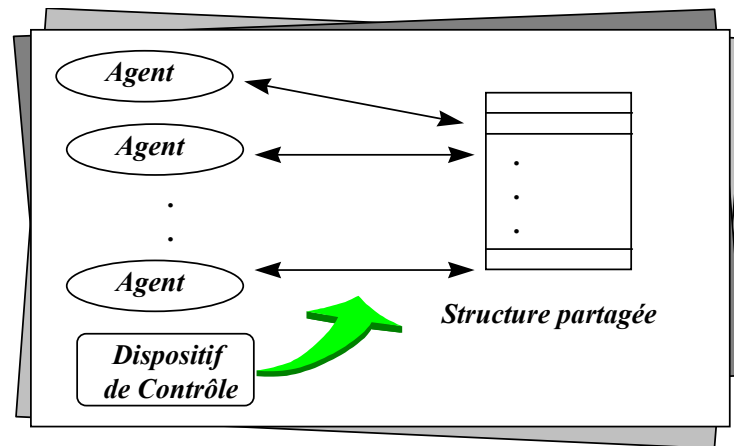


Figure II.3 : Communication par Partage d'Informations

Le mécanisme de blackboard [Nii, 86] est constitué de trois éléments principaux :

- ⇨ *Les Sources de Connaissances (Knowledge Sources)* : la connaissance du domaine nécessaire pour la résolution du problème est partagée entre plusieurs modules appelés sources de connaissances (SC);
- ⇨ *Le blackboard* : le blackboard contient une description de l'état de la résolution sous formes d'entités appelées souvent faits, hypothèses ou noeuds. Il est organisé sous forme de niveaux qui permettent une décomposition de la description de la solution en niveaux d'abstraction.
- ⇨ *Le Contrôle* : le mécanisme de contrôle a pour rôle de choisir, parmi les sources de connaissances dont la partie condition est vérifiée, celle dont la partie action sera exécutée, créant ainsi de nouvelles hypothèses dans le blackboard et permettant à la résolution de se poursuivre. L'aide au choix des SC à activer se fera par le biais d'« événements ». Ces événements sont engendrés par la création ou la mise à jour d'une hypothèse dans le blackboard. Ils sont placés dans une liste qui sera traitée par le mécanisme de contrôle.

2.4.2.2 Communication par envoi de messages

Si les agents communiquent par envoi de messages ils se rapprochent du modèle d'*acteur* proposé par Hewitt [Hewitt, 77]. Ce premier modèle définissait un acteur comme une entité active et autonome qui a une vue partielle de l'univers. Cet acteur était décrit au moyen de deux éléments : des *accointances* (qui correspondent aux acteurs connus d'un autre acteur), et un *comportement* décrit par un *script*, ensemble de méthodes qui indiquent les différentes actions que peut accomplir cet acteur en réponse aux messages qu'il reçoit. L'acteur pourra adopter différents comportements pour répondre à un message : soit il le traite, soit il délègue la tâche à ses accointances ; il peut également créer de nouveaux acteurs puis disparaître. L'envoi de messages est le seul mode de communication entre acteurs. Tous les messages sont *asynchrones* et placés dans une mémoire-tampon (sans attente de réponse). Chaque message contient une *continuation*, à qui doit être retournée la réponse à la requête. Il y a *distribution des connaissances* (chaque acteur possède un

comportement réparti entre ses accointances) et *distribution du contrôle* (chaque acteur possède un *script* qui définit sa réaction aux messages qu'il reçoit) [Ouzrout, 96].

2.4.2.3 Protocoles de communication

Pour communiquer les agents doivent utiliser un protocole qui leur permet de structurer et d'assurer la continuité des communications et des échanges entre un début et une fin. La nature de ces échanges dépendant évidemment des capacités des agents à émettre des informations et à les traiter. Chacun émet des messages commençant par un mot clé de début et finissant de même, ces messages étant des ordres ou des informations, des requêtes, des promesses ou des menaces, etc.. Les réponses sont des messages porteurs d'informations ou d'actions.

L'expression du protocole se traduit par une succession d'étapes (représentées par un état) élémentaires de traitement local mise en œuvre au sein des agents, s'intercalant entre toute réception et émission d'interaction [Populaire & al., 93]. Les protocoles font appel à des principes psycho-cognitifs et sociaux. Ils s'appuient sur des mécanismes tels que les actes de langages ou mécanismes d'appels d'offres utilisés dans les établissements de contrats publics [Ferber & Erceau, 91].

Dans ce mémoire, nous n'allons nous intéresser qu'à la communication par envoi de messages. Pour ce type de communication, plusieurs protocoles sont possibles. Les décisions sur la façon dont les agents vont communiquer entre eux sont contraintes par la politique organisationnelle choisie ; plusieurs politiques sont proposées :

- communication sélective ou diffuse : les agents font-ils une distinction entre ceux avec qui ils vont communiquer et les autres ? si oui quels sont les critères pour choisir les destinataires ?
- communication non-sollicitée ou sur demande : sait-on qui veut communiquer avec qui ? la communication est-elle effectuée après demande d'informations ou après analyse des besoins informationnels des autres agents ?
- communication avec ou sans accusé de réception : le destinataire doit-il ou non indiquer à l'émetteur s'il a reçu l'information ?
- communication unique ou répétée: une information est-elle envoyée une ou plusieurs fois ? à quelle fréquence ?

2.4.3 Organisation des agents

« Du point de vue de la réflexion sur la distribution des tâches et de l'interaction cohérente entre les agents dans la résolution de problèmes distribués ou dans un système multi-agents, le problème de base est une question d'organisation, à savoir, décider quel agent fera quoi et quand. » [Gasser, 88]

Dans un premier temps, les travaux d'IAD se sont essentiellement rapportés aux théories de l'organisation. Ces travaux sont nombreux et variés¹³, de ce fait, ils sont assez difficiles à appréhender dans leur globalité. Ces travaux ont eu pour but de permettre la compréhension

¹³ On peut citer les travaux de [March & Simon, 58 ; Malone & Crowston, 90 ; Durfee & al., 87 ; Fox, 81 ; Pattison & al., 87 ; Bouron, 93 ; Ferber, 95]

du fonctionnement des organisations et l'identification des moyens d'action sur l'organisation.

2.4.3.1 Quelques définitions d'organisation

Crozier et Friedberg [Crozier & Friedberg, 77], définissent l'organisation comme un construit politique et culturel, un moyen dont les acteurs sociaux se dotent pour régler leurs interactions afin d'obtenir le minimum de coopération nécessaire pour atteindre des objectifs collectifs. Selon Malone [Malone, 87], l'organisation est une structure de coordination (de prise de décision) et de communication comprenant un ensemble d'acteurs afin de réaliser un but commun. Pour T. Bouron [Bouron, 92], l'organisation est définie comme l'ensemble des engagements tenus par les agents constituant la société. L'organisation, pour M. Hannoun [Hannoun, 98] spécifie *qui fait quoi et comment*. Il base son modèle d'organisation sur les rôles et les liens organisationnels entre ces rôles, ce qui rejoint les travaux de M.S. Fox [Fox, 81], qui qualifie l'organisation de structure décrivant comment les membres sont en relation et interagissent afin d'atteindre un but commun. Henry Mintzberg [Mintzberg, 79] a donné une vue unifiée de quelques travaux ; il a défini la structure d'une organisation comme la somme totale des moyens employés pour diviser le travail en tâches distinctes et pour ensuite assurer la coordination nécessaire entre ces tâches

D'après les définitions issues des différentes disciplines (sociologie qui est une discipline fondatrice de ce concept, SMA, sciences humaines, sciences économiques), citées plus haut, nous constatons que le terme « organisation » est ambigu, il renvoie à la fois à l'action d'organiser et au résultat de cette action. Néanmoins, nous pouvons déduire que l'organisation est directement liée à la division de travail, répartition des rôles, des tâches et de responsabilités entre les membres d'un groupe.

Des études relativement récentes montrent [Huberman & al., 94] que dans les entreprises performantes coexistent deux types d'organisations :

- celle qui est **formelle**, dont l'objectif est de guider ses membres à une aptitude de collaboration ;
- celle qui est **informelle**, où la collaboration entre individus est faite de façon spontanée.

De façon analogue, nous pouvons trouver dans la littérature de l'IAD deux types d'approches pour la conception des organisations [Sichman, 95] :

- **l'approche statique** : selon cette approche, les liens d'autorité et de communication entre des agents, que l'on connaît tous a priori, sont complètement définis pendant la phase de conception du système. Ils servent à établir un moyen de contrôle global de la société, en la conduisant à un comportement censé résoudre un problème.
- **l'approche dynamique** : selon cette approche, les liens d'autorité et de communication ne sont pas pré-établis entre les agents. Ces liens sont créés de façon dynamique (que certains auteurs désigneraient par le terme « émergence »), lorsque les agents cherchent à atteindre leurs propre buts.

2.4.3.2 Typologie des organisations

Suivant les rôles et les relations entre agents, différents types d'organisations ont été proposés par Gasser [Gasser, 92]:

⇒ **centralisée (hiérarchie uniforme)**, qui correspond au mode d'adaptation fixe, avec des liens de subordination de type maître/esclave. A chaque niveau, les maîtres centralisent les pouvoirs de prise de décision et de contrôle.

⇒ **de marché**, ce qui correspond aux organisations basées sur le principe de contrat. Les organisations de ce type sont formées d'agent indépendants qui résolvent leurs tâches individuelles en soumettant des sous-tâches aux autres. L'exemple de référence est le réseau contractuel (contract Net) de R.G. Smith [Smith, 80], qui repose sur un mécanisme d'allocation de tâches régi par le protocole d'appel d'offres qui est utilisé dans les organisations humaines. Cette catégorie reflète la méthode qui existe dans l'univers économique réel.

⇒ **de communauté pluraliste**, qui correspond aux organisations variables émergentes. Les agents dans ce type d'organisation sont indépendants, ils préparent des solutions aux problèmes et communiquent leurs résultats aux autres membres de la communauté. On peut citer la communauté scientifique comme exemple de cette catégorie.

⇒ **de communauté à règles de comportements**, des organisations variables prédéfinies avec interactions selon des protocoles explicites. Les systèmes multi-experts et multi-sources de connaissances¹⁴ appartiennent à cette catégorie.

Ces quatre types de structures sont basés sur des modèles d'organisations humaines. Les sociétés d'agents peuvent reposer sur une ou plusieurs de ces organisations, comme nous le verrons dans le chapitre IV.

Nous constatons qu'aucune définition unifiée n'a été donnée pour la notion d'organisation. A cet égard et dans l'état actuel de la recherche sur les organisations, rien ne nous permet de dire que tel ou tel modèle d'organisation est le mieux adapté à tel ou tel système. Ce que nous pouvons affirmer, c'est que la structure d'une organisation est fonction de l'environnement dans lequel elle évolue, des ressources (informations) disponibles pour atteindre le but commun, ainsi que de la nature de ce but.

Un des buts majeurs d'une société d'agents réside dans le fait que celle-ci peut tirer partie de la distribution pour résoudre les problèmes, c'est ce que nous allons voir dans le paragraphe suivant.

2.5 Distribution

« Tous les systèmes réels sont distribués ».

[Hayes-Roth, 80]

La distribution est un atout pour les SMA, elle permet de contrôler la complexité des problèmes à résoudre en décomposant par exemple le traitement. Elle peut être caractérisée comme un élément essentiel des systèmes évolutifs dans le sens où elle permet aussi le remplacement d'un système par plusieurs sous systèmes, ce qui conduit à une meilleure adaptation aux changements de l'environnement extérieur.

Parmi les aspects, proposés par A.H. Bond et L. Gasser [Bond & Gasser, 88], qui peuvent être distribués, nous citons : **l'autorité**, en effet différents agents peuvent avoir des niveaux

¹⁴ Tels que HEARSAY [Erman, 80], GBB [Corkill, 86], et BB1 [Hayes-Roth, 88].

d'autorité ou de responsabilité pour différents aspects d'une situation : *les ressources, le travail, l'information, ou la connaissance*.

Les raisons qui ont poussé les chercheurs à s'intéresser à la connaissance distribuée, et qui nous ont orientés à choisir une architecture distribuée (vue la problématique et le contexte industriel actuel, chap. I), sont multiples :

- les approches traditionnelles ont montré à travers le développement industriel des systèmes experts, que la conception de bases de connaissances suscite de nombreuses difficultés liées à l'importance de la taille des bases de connaissances, à la multiplicité des sources de connaissances et d'informations, à l'incohérence des bases de règles, et au raisonnement résultant de sources multiples, etc.
- une seule base de connaissance (centralisée) ne peut être une solution pour la représentation de raisonnement conflictuel.
- l'espace à explorer d'une base de connaissance est tellement grand qu'il en résulte une explosion combinatoire, d'où l'effondrement des performances du système.
- la faible résistance des systèmes, où la connaissance est centralisée, aux perturbations externes.
- dans la réalité, les hommes travaillent généralement (dans une entreprise) en groupe. Ils mettent en commun leurs expériences afin de collaborer pour atteindre un but. Il serait irréaliste de vouloir à tout prix représenter un système par un seul expert artificiel alors que la connaissance du système provient de plusieurs individus aux points de vue différents voire contradictoires.

Durfee, Lesser, Cornill [Durfee & al., 87], [Lesser & Cornill, 87] ont proposé plusieurs modes de distribution : *une distribution spatiale* qui concerne l'emplacement spatial des agents, de la connaissances, des processus, etc.. ; *une distribution fonctionnelle* qui détermine le rôle des agents au sein de la société ; *une distribution temporelle* qui s'explique par exemple dans le cas d'une expertise qui peut être disponible ou non à un moment donné ; *une distribution logique*, comme le précise P. Moraitis, concerne le degré d'indépendance logique entre les différentes parties de la connaissance disponible. Toutes ces notions sont en cohérence avec notre problématique et correspondent bien à notre contexte, elle vont être sous-jacentes au modèle de société que nous proposons dans le système MAC1 (chap. VI).

En résumé, une architecture distribuée facilite la modularité. L'extension du système est réalisée par l'ajout d'agents. La séparation des composants du système permet d'accroître la fiabilité de l'ensemble, de gérer les défaillances sans remettre en cause la construction globale. Il faut développer à la fois la distribution et l'intégration des compétences pour que les différences entre les agents autonomes accroissent les capacités du système.

3 CONNAISSANCE D'UN AGENT

« Celui qui sait qu'il ne sait pas, sait déjà beaucoup »

« Le premier acte de la connaissance, c'est sans doute la prise de conscience de ce que l'on connaît pas »

Aphorisme

3.1 Généralités sur la connaissance en IA

Avant d'aborder la connaissance d'un agent, voici quelques généralités sur la connaissance en IA (acquisition et représentation).

Dès les années soixante-dix, un intérêt particulier est porté au concept de *connaissance*. S'il y a des notions difficiles à définir, la connaissance en est une ; elle est définie (en IA) comme l'ensemble des informations (savoir, savoir-faire, expérience, souvenir, concepts, faits..), nécessaires à un être humain (ou à une machine) organisées de manière à ce qu'il puisse accomplir une tâche considérée comme complexe.

Les connaissances utilisées en IA ont une sémantique principalement symbolique, et c'est à ce type de connaissance que nous nous intéressons. Il est convenu que lors de la mise en œuvre d'un système à base de connaissances [Kayser, 84] :

Les deux facettes complémentaires de l'effort à mener sont la représentation des connaissances a priori et l'utilisation de ces connaissances a posteriori.

Quelques questions sur le sujet ont été alors posées [Sleeman, 92], [Napoli, 92], [Brachman, 90], [Laurière, 88], [Kayser, 84] :

- Comment acquérir les connaissances d'un expert ?
- Sous quelle forme doivent s'exprimer ces connaissances ?
- Comment représenter ces connaissances dans un système ?
- Quel et comment un algorithme ou un mécanisme de raisonnement peut-il exploiter un ensemble de connaissances forcément limité, et comment peut-il tirer de cet ensemble toutes les informations implicites qu'il renferme ?

Tout au long de ce mémoire, nous essayerons de répondre à quelques unes des questions citées ci-dessus.

3.1.1 Acquisition de la connaissance

Pour résoudre des problèmes dans un domaine précis, l'être humain doit tout d'abord avoir une connaissance du domaine en question. Cette connaissance permet d'orienter le raisonnement vers le but à atteindre. De ce fait, si on veut faire résoudre des problèmes par des machines automatiques, il faut les doter de connaissances nécessaires à la résolution. Ces connaissances seront obtenues par le biais d'un processus appelé « acquisition de connaissances » qui consiste à transférer des connaissances depuis les sources d'expertises (experts, documents, bases de données, etc..) vers le système automatique.

L'expertise détenue par les experts représente la connaissance la plus difficile à extraire et à modéliser dans un Système à Base de Connaissances (SBC). En effet, cette expertise est acquise par une longue pratique (expérience), et puisque l'expert n'a pas un accès conscient à ses connaissances, leur explicitation par celui-ci n'est pas évidente et leur acquisition représente donc une tâche délicate.

Un autre problème auquel sont confrontés les développeurs des SBC est celui de l'oubli de la part des experts de délivrer une partie de leurs connaissances. Cela est dû au fait que l'expert ne se met pas toujours en situation réelle lorsqu'il fournit ses connaissances, par conséquent il ne décompose pas explicitement toutes les étapes du raisonnement pour fournir la totalité de son savoir à propos de la tâche qu'il traite.

La confrontation à ces problèmes a donné naissance à des méthodologies¹⁵ d'acquisition de connaissances qui ont pour objectif de faciliter le transfert de connaissances depuis des experts humains vers des systèmes informatiques, parmi les plus avancées et populaires nous pouvons citer MACAO [Aussenac, 89], KADS¹⁶ [Brenker, 85 ; Krisch, 93], KOD¹⁷ [Vogel, 88]. Ces méthodes ont comme principe la séparation des phases d'analyse et de conception pour aboutir à la construction d'un modèle de connaissances fiable.

3.1.2 Représentation de la connaissance

La connaissance, manipulée au sein d'un agent et d'un SBC, est considérée comme une unité calculable, une entité ontologique des taxonomies d'objets et des relations qui les relie. Elle peut être un fait, une donnée brute ou une action caractérisant les objets du domaine d'application ou leur comportement.

Pour un SBC, la création, la maintenance, la réutilisation des bases de connaissances, l'acquisition des connaissances et l'apprentissage sont très dépendants de la représentation des connaissances qui consiste à transcrire des connaissances sous une forme symbolique exploitable par un système de raisonnement.

Le mode de représentation qui nous intéresse (par rapport à notre domaine d'application, chap. I) est de nature déclaratif, car il permet une formalisation des connaissances, à la fois explicite et directement accessible, indépendante de la structure de contrôle. Ainsi,

Représenter = Stocker + Raisonner [Napoli, 92].

La bonne connaissance suppose l'utilisation à bon escient des informations dont on dispose... Le problème est de trouver des structures informatiques permettant le stockage et l'utilisation par la machine elle-même de ces informations... [Kayser, 84].

The knowledge needed to get along the world could be written down in some form and then used as needed [Brachman, 90].

De ces points de vue une définition plus générale de la représentation des connaissances peut être dégagée :

La représentation des connaissances, dans n'importe quel système informatique, consiste a priori en l'élaboration des formalismes et des structures de données appropriées au stockage et à la manipulation des connaissances, et a posteriori en l'implémentation des programmes capables de mieux exploiter l'ensemble (forcement limité) de ces connaissances.

La représentation des connaissances consistait à ses débuts en la mise en œuvre de formalismes relativement simples (exemple : objet-attribut-valeur de SNARK [Laurière, 86] et objet typé sous forme d'une liste d'attribut-valeurs d'OPS [Forgy, 81] et ses dérivés). Cette façon de faire n'arrivait pas à répondre d'une manière satisfaisante aux besoins rigoureux des

¹⁵ Boose, 86 ; Eshelman, 86 ; Vogel, 88 ; Aussenac, 89 ; Dieng, 90 ; Brunet, 91 ; Vicat, 93.

¹⁶ Knowledge Acquisition and Design Support, développée dans le cadre d'un projet ESPRIT (n° 1098)

¹⁷ Knowledge Oriented Design

applications qui nécessitent l'emploi et la manipulation des objets complexes. En effet, dans de nombreux cas, la solution à un problème complexe fait appel à divers types de raisonnement et par conséquent nécessite une représentation hétérogène afin de modéliser convenablement chaque type de connaissances.

Depuis, la représentation des connaissances a largement dépassé le statut d'activité secondaire de l'IA, pour devenir un domaine de recherche à part entière [Brachman, 90]. Au long de sa maturité, elle a connu des changements de méthodologies, et de développement de nouvelles techniques ainsi que d'importantes contributions des autres disciplines comme les mathématiques (en particulier les logiques), la psychologie, l'informatique (notamment les bases et les banques de données), les langages à objets... [Kayser, 84, 85]. Notre intérêt porte tout particulièrement sur la représentation des connaissances par règles et par objets, pour les raisons que nous allons voir dans les paragraphes suivants.

Le retentissement de l'Approche Orientée Objet (AOO) dans les activités liées à la représentation des connaissances découle du fait qu'une représentation par objets répond le mieux aux objectifs de spécifications. Elle permet d'appréhender d'une manière efficace et naturelle un concept (entité, action ou état) qui existe dans un univers, d'un point de vue conceptuel (structurel). Les concepts sont définis comme des collections de propriétés structurelles et procédurales décrivant leur état et les opérations qu'ils sont capables d'exécuter pour communiquer entre eux. De tels langages sont aussi qualifiés de langages de représentation hiérarchique du fait qu'ils organisent les concepts en niveaux d'abstraction par l'intermédiaire du *mécanisme d'héritage*¹⁸. Les formalismes habituellement employés pour représenter des hiérarchies de concepts sont les *classes (d'objets)* et les *frames*.

La représentation des connaissances et la programmation par objets ont pris corps dans les années 70 à partir de travaux comme ceux de Minsky¹⁹. Depuis, le paradigme objet a eu un succès remarquable et a été impliqué dans beaucoup d'activités de recherches et en particulier les bases de données [Gardarin, 93] et les SBC [Pachet, 92, Masini et al., 89]. L'intérêt de l'activité de la représentation des connaissances pour l'AOO s'est développé durant la dernière décennie, quand cette activité a exprimé des besoins de spécification et de modélisation difficilement réalisables avec les outils de l'informatique classique. Elle s'appuie sur des atouts puissants concernant la pluralité des niveaux d'abstraction, la réutilisation, la facilité de passage du modèle conceptuel à l'implémentation etc. [Debenham, 94, Unland & Schlageter, 92, Mylopoulos, 91, Ferber, 85].

La conception orientée objet permet la spécification des structures et comportements concernant un objet à la fois, alors que le formalisme règles de production qui manque d'outils structurels, permet la manipulation d'ensembles d'objets, chose difficilement faisable avec la programmation orientée objet seule. Aussi, le formalisme règles de production est incapable tout seul, d'accueillir d'autres formes de comportement de la connaissance que les associations condition-action. L'AOO apporte un complément au paradigme règle de production, permettant d'exprimer toute forme de dynamique qu'une connaissance pourrait avoir. Le paradigme objet est considéré alors comme l'unité logico-sémantique de la connaissance [Laurière, 88].

¹⁸ ou de subsomption. Dans le cadre de ce projet, on s'intéresse uniquement à l'héritage.

¹⁹ M. Minsky a introduit la notion de *frame*, proche de celle de *classe d'objets*, en travaillant sur les rapports entre perception et mémoire. "Here is the essence of the theory : "When one encounters a new situation (or makes a substantial change in one's view of the present problem), one selects from memory a substantial structure called a frame. This is a remembered framework to be adapted to fit reality by changing details as necessary." [Minsky, 75], extrait de [Masini et al., 89] p 275.

3.2 Formalisation de la connaissance d'un agent

3.2.1 Introduction

Depuis longtemps, l'homme a eu l'idée de faire résoudre des problèmes par des machines automatiques. De la mise en pratique de cette idée, il s'est avéré que cela n'est vraiment possible qu'en dotant ces dites « machines » de connaissances utilisées par les humains lorsqu'ils accomplissent des tâches données. Désormais tout développeur ou utilisateur d'un système intelligent sait que la capacité du système à résoudre des problèmes et à fournir des explications dépend des connaissances qu'il exploite : les concepts, les relations, les représentations, les méthodes et les heuristiques portant sur son domaine de travail.

L'agent cognitif dispose de connaissances explicites qu'il peut utiliser pour appréhender le monde, surmonter des difficultés, établir des jugements, résoudre des problèmes, prendre des engagements, c'est à dire assurer sa propre autonomie [Haurat, 95]. Son comportement est fondé sur des connaissances données a priori ou des connaissances révisés par apprentissage (Cf. chap. III, V).

La connaissance d'agent ne se limite pas à celle des tâches qu'il accomplit, il faut aussi inclure les informations concernant le monde qui l'entoure, c'est-à-dire son environnement et les autres agents avec lesquels il communique et interagit. La connaissance dans *l'interaction* est le fruit d'interactions entre agents cognitifs [Ferber, 95].

Il existe une approche, qui représente ce qu'on appelle l'hypothèse kénétique ou interactionniste [Ferber, 95], qui postule que la connaissance d'un individu peut être considérée comme un système multi-agent à part entière, les concepts, notions et représentations étant alors des agents de nature particulière qui « vivent » à l'intérieur des agents. Le raisonnement d'un agent peut alors être vu comme la résultante des interactions noétiques²⁰ [Morin, 91] à la manière dont Minsky le suggère dans sa société de l'esprit [Minsky, 88].

Cette approche nous semble pertinente (en perspective) car elle pourrait apporter des résultats intéressants quand à la compréhension de l'élaboration de la connaissance dans les systèmes multi-agents.

En général, les agents cognitifs disposent de trois types de connaissances [Iffenecker, 92] :

1. **connaissances du domaine**, c'est l'expertise sur un domaine précis (Cf. §. 3.3).
2. **connaissances de communication**, pour réaliser un projet et atteindre les objectifs, les agents coopèrent et interagissent en s'échangeant des informations ou des problèmes. Les connaissances de communication leur servent alors à progresser dans la réalisation de ce projet (cf. chap. IV).
3. **connaissances de contrôle**, permettent aux agents de coordonner leurs actions, et de décider des tâches à accomplir en vue de réaliser un projet commun.

²⁰ Phil. Relatif à la noèse. Noèse : acte par lequel la pensée vise un objectif pour la phénoménologie.

3.2.2 Quelques caractéristiques d'un agent

Dans ce paragraphe, nous présentons quelques aspects qui caractérisent un agent cognitif, tels que l'intention, la rationalité, la croyance, l'engagement. La liste est loin d'être exhaustive, mais nous n'avons retenu que ceux qui nous intéressent.

3.2.2.1 Intention

L'intention²¹ est un élément crucial du comportement intelligent d'un agent, c'est la déclaration explicite des objectifs individuels. Elle exprime donc la volonté consciente d'un agent d'atteindre un but ou d'effectuer un acte. Les intentions sont modélisées par un état mental complexe repris des travaux de Cohen et Levesque [Cohen & Levesque, 88 ; 90]. Selon ces auteurs, les intentions doivent satisfaire deux contraintes : des contraintes temporelles, et des contraintes sur des buts :

⇒ Des contraintes temporelles sous-jacentes à la notion d'intention supposent que des intentions émises par un agent prennent en compte des croyances dans le passé et un désir final à réaliser dans le futur.

⇒ Des contraintes sur des buts supposent une relation d'ordre concernant les intentions. Plus précisément, un désir est réalisé en un ensemble d'intentions complexes définies par des buts à satisfaire. Les buts sont alors décomposés en sous-buts jusqu'à l'obtention de sous-buts élémentaires.

3.2.2.2 Concept de Rationalité

Du point de vue de l'IA, et comme l'indique Newell [Newell, 82], le principe de rationalité consiste à faire en sorte que « si un agent sait que l'une de ses actions lui permet d'atteindre ses buts, alors il sélectionnera cette action ». Les agents rationnels disposent de critères d'évaluation de leurs actions, et sélectionnent selon ces critères les meilleures actions qui leurs permettent de prendre la meilleure décision. De tels agents sont capables de justifier leurs décisions.

3.2.2.3 Croyances

En général, les croyances décrivent l'état du monde du point de vue d'un agent, et donc la manière dont il se représente son environnement, les autres agents ainsi que lui-même. Notons que toute information qui fait l'objet d'une croyance peut être remise en question, ce type de connaissance n'est pas objectif. Chaib-Draa [Chaib-Draa, 89] lui donne le sens d'une information pertinente pour l'agent.

3.2.2.4 Engagements

L'engagement (commitment) se présente comme l'un des concepts clés de l'action collective dans le cas de SMA cognitifs. Ce concept a été introduit en IA [Fikes, 82],

²¹ Notons que chez Minsky la notion d'intentionnalité n'existe pas, elle est remplacée par la notion d'objectif.

et analysé en détail par Alan Bond [Bond, 89 ; 90], [Rao & Georgeff, 92], [Cohen & Levesque, 87 ; 90].

Pour Jacques Ferber, les engagements caractérisent les dépendances (devoirs, contraintes...) qui lient les agents cognitifs par rapport à eux-mêmes, mais surtout par rapport aux autres lorsqu'ils décident d'accomplir une action, de rendre un service et, d'une manière générale, lorsqu'ils ont l'intention de faire quelque chose. Si les agents ne prenaient pas d'engagements, il leur serait impossible d'avoir une représentation adéquate d'un état futur du monde et donc de planifier leurs propres actions en anticipant sur l'avenir.

Ce concept d'engagement semble voué à désigner les liens unissant les membres d'une organisation, et à constituer une transition entre l'organisation et la communication.

On peut distinguer plusieurs cas de figure [Ferber, 95] selon que les engagements portent sur la réalisation d'une action (je m'engage à vous payer), sur l'affirmation d'une croyance (je vous assure que c'est vrai), sur la réalisation d'un but (j'ai bien l'intention d'augmenter le chiffre d'affaire), sur des conventions sociales (je m'engage à accepter les règlements intérieurs de cette firme), ou sur un rôle social (je m'engage à faire tout ce qui est en mon pouvoir en tant que premier ministre).

⇒ **Engagements relationnels** : un agent s'engage envers autrui soit à accomplir une action (ou essayer de satisfaire un but), soit sur la validité d'une information.

⇒ **Engagements environnementaux**: il s'agit de l'engagement envers les ressources.

⇒ **Engagements envers le groupe social** : il existe deux formes d'engagement liées au groupe social. La première consiste à promettre d'accomplir une tâche pour le groupe ou l'organisation (semblable à l'engagement relationnel, seulement l'engagement se rapporte à un groupe et non plus à un agent). La deuxième forme porte sur l'engagement envers des conventions sociales et sur l'acceptation des contraintes associées à un rôle dans une organisation.

⇒ **Engagement des organisations envers ses membres** : une entreprise, par exemple, s'engage effectivement à payer ses salariés. Il s'agit donc d'un type d'engagement inverse du type précédent puisque c'est le groupe qui s'engage envers ses membres.

⇒ **Engagements envers soi-même** : un agent peut s'engager envers lui-même à accomplir une action.

GLOSSAIRE

Accointances :

Chaque agent est lié directement à un ensemble d'autres agents qu'on appelle ses accointances [Ferber, 95].

Agent :

On appelle agent une entité physique ou virtuelle,

- a . qui est capable d'agir dans un environnement,
- b . qui peut communiquer directement avec d'autres agents,
- c . qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
- d . qui possède des ressources propres,
- e . qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
- f . qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
- g . qui possède des compétences et offre des services,
- h . qui peut éventuellement se reproduire,
- i . dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit [Ferber, 95].

Un agent est une entité intelligente, agissant rationnellement et intentionnellement, en fonction de ses buts propres et de l'état actuel de ses connaissances [Demazeau et al . 90].

Un agent est toute entité active dont le comportement est utilement décrit à l'aide de notions mentales telles que les connaissances, les buts, les intentions, ... [Lespérance, 95].

Agent adaptatif :

Un agent adaptatif est un agent d'un haut niveau de flexibilité, capable de contrôler ses aptitudes (de communication, comportementales, etc.) selon l'agent avec lequel il interagit [Labidi et al . 93].

Agent cognitif :

Un agent cognitif est un agent qui dispose d'une base de connaissances comprenant l'ensemble des informations et des savoir-faire nécessaires à la réalisation de sa tâche et à la gestion des interactions avec les autres agents et avec son environnement [Ferber, 95].

Agent Intelligent :

On appelle agent intelligent un agent cognitif, rationnel, intentionnel et adaptatif [Labidi et al . 93].

Agent intentionnel :

Un agent intentionnel est un agent guidé par ses buts [Labidi et al . 93]. Il possède des buts et des plans explicites lui permettant d'accomplir ces buts [Ferber, 95].

Agent rationnel :

Un agent rationnel est un agent qui suit le principe de rationalité suivant : " Si un agent sait qu'une de ses actions lui permet d'atteindre un de ses buts, il la sélectionnera " [Newell, 82]. Un tel agent est capable de justifier sa décision [Labidi et al . 93].

Un agent rationnel est un agent dont les actions sont toujours le fruit d'une délibération raisonnée et qui servent directement à la satisfaction des buts de l'agent [Ferber, 95].

Agent réactif :

Les agents réactifs sont des agents qui ne disposent que d'un protocole et d'un langage de communication réduits, leurs capacités répondent uniquement à la loi stimulus/action [Labidi et al . 93].

Apprentissage :

Les agents doivent être capables de mettre à jour leurs connaissances sur les autres, et/ou leurs connaissances sur la résolution des problèmes en tenant compte des critiques sur les connaissances antérieures, les échecs, les nouveaux exemples. Il doivent donc pouvoir apprendre, l'acquisition des connaissances pouvant s'effectuer par communication ou par perception [Moraitis, 94].

Cognition :

C'est la capacité d'une entité de distinguer un soi du non-soi. Autrement dit :
La cognition désigne la propriété qui permet d'établir une relation au monde dans lequel notre " soi " se distingue de quelque chose de perçu comme un 'non-soi' [Dausset, 90].

La cognition désigne la propriété d'une entité propre au milieu d'événements récurrents ou différents, susceptibles de mettre à mal la dite identité. Cette définition est d'origine biologique : le niveau le plus bas étant, par exemple, notre système immunitaire. La frontière entre un 'soi' et un 'non-soi' peut être repérée à des niveaux d'organisation plus élevés, tels que le corps, voire même une organisation économique [Micaelli, 94].

Cogniton :

Un cogniton est une entité cognitive élémentaire qui est reliée à d'autres cognitons pour former une configuration mentale dynamique qui évolue avec le temps.

NB : Ce terme est construit à partir du vocable 'cognitif' et de la terminaison 'on' qui désigne quelque chose d'insécable, une particule élémentaire, à la manière de photon ou méson. Il a été élaboré par analogie avec 'infor' l'unité élémentaire d'information développée par K. Devlin, 91 dans le cadre de la sémantique situationnelle [Ferber, 95], [Devlin, 91].

Communication :

La communication désigne l'ensemble des processus physiques et psychologiques par lesquels s'effectue l'opération de mise en relation d'un agent (l'émetteur) avec un ou plusieurs agents (les récepteurs), dans l'intention d'atteindre certains objectifs. La communication est caractérisée par l'échange d'information entre deux agents. Les processus physiques désignent les mécanismes d'exécution des actions (ex. l'envoi et la réception de messages), les processus psychologiques se rapportent aux transformations opérées par les communications sur les buts et les croyances des agents [Anzieu et al. 68] [Bouron, 92].

Compétence :

La compétence est une connaissance utile (par exemple) à l'entreprise en vue d'atteindre des résultats. Il s'agit d'une aptitude à savoir, à être et à faire. Elle s'exerce sur un domaine.

Il peut exister plusieurs formes de compétences :

1. La compétence professionnelle : connaissance approfondie de certaines méthodes et techniques.
2. La compétence spécialisée : connaissances approfondies dans un domaine technique précis.
3. La compétence experte : maîtrise complète de concepts et pratiques dans un domaine hautement spécialisé [Bruneau et al. 92].

Connaissance :

La connaissance (en IA) est définie comme l'ensemble des informations (savoir, savoir-faire, expérience, souvenir, concepts, faits...) nécessaire à un être humain (ou à une machine) organisées de manière à ce qu'il puisse accomplir une tâche considérée comme complexe.

NB : La connaissance d'un agent ne se limite pas à celle des tâches qu'il accomplit : il faut aussi inclure les informations concernant le monde qui l'entoure, c'est-à-dire son environnement et les autres agents avec lesquels il communique et interagit [Ferber, 95].

La connaissance dans *l'interaction* est le fruit d'interaction entre agents cognitifs qui, par un processus de confrontation, d'objections, de preuves et de réfutations, élaborent des concepts, construisent des théories et formulent des lois [Lakatos, 76].

Les connaissances sont les faits qui ne servent pas à décrire la situation et qui n'ont pas été établis par le système pour donner des propriétés de cette situation; les connaissances servent à élaborer des faits nouveaux ou à déterminer les actions qu'il faut entreprendre. Une caractéristique de la connaissance est sa permanence pour une variété de problèmes.

NB : Ceci est particulièrement délicat, quand il y a apprentissage, des faits établis par le système deviennent des connaissances...[Pitrat, 90].

La connaissance selon un sens premier : la connaissance désigne le rapport général d'un sujet à un objet. Cette connaissance diffuse imprègne totalement le sujet au point d'être difficilement communicable; c'est ce qui rend nécessaire l'introduction d'un second sens selon lequel : la connaissance désigne le

rapport d'un sujet à un objet en tant qu'il est objectivable, c'est-à-dire en tant qu'il est transmissible par le langage....[Ganascia, 91].

Ensemble des procédures et des structures qui permettent à un acteur d'utiliser son savoir pour modifier son rapport au monde [Micaelli, 94].

Connaissance collective :

C'est l'ensemble des savoirs théoriques, savoir-être et savoir-faire qui permettent par exemple à l'entreprise de faire face aux exigences de son environnement et forment la connaissance de l'entreprise. La connaissance collective est plus que la simple addition des connaissances individuelles.

Elle représente en effet un ensemble coordonné de savoirs, pratiques et comportements tendant à la fois à obtenir des parts de marché pour l'entreprise et à lui permettre d'assurer son identité propre. Tout comme un individu, la connaissance d'une entreprise, et plus généralement d'un système, comprend trois éléments :

- Le savoir théorique collectif : type d'informations disponibles et recherchées, jargon technique....
- le savoir-faire collectif : ensemble des métiers de l'entreprise, des méthodes de travail....
- le savoir-être collectif : identité de l'entreprise (logo, objectifs, projets, valeurs, histoire), rituels des réunions...[Bruneau et al, 92].

Connaissance générale :

Les connaissances générales correspondent à des connaissances de bon-sens. L'expert ne les applique pas directement pour exécuter des tâches habituelles, mais dans des situations, nouvelles ou exceptionnelles, qu'il ne sait pas traiter a priori. Leur généralité rend ces connaissances versatiles mais elles sont lourdes de maniement car non finalisées [Hoc, 87], [Falzon, 88], [Aussenac, 89].

Connaissance routinière :

Les connaissances routinières, très familières pour le sujet, sont des automatismes de traitement, mis en oeuvre sans un contrôle conscient de sa part. Ces connaissances ne sont générées qu'après la répétition d'une série de situations correspondant à des conditions extrêmement proches. L'automatisation se traduit par une sorte de compilation des procédures de résolution, c'est-à-dire un affinage par élimination des informations non directement pertinentes dans ces procédures [Hoc, 87] [Falzon, 88], [Aussenac, 89].

Connaissance opérationnelle :

Les connaissances opérationnelles, au contraire, sont finalisées et spécifiques d'un domaine ou d'une tâche. Leur acquisition découle de la pratique répétée d'une tâche, qui proviennent d'une série d'expériences analogues dans un environnement imparfaitement stable[Hoc, 87] [Falzon, 88] [Aussenac, 89].

Coopération :

On dira que plusieurs agents coopèrent, ou encore qu'ils sont dans une situation de coopération, si l'une des deux conditions est vérifiée :

1. L'ajout d'un nouvel agent permet d'accroître différenciellement les performances du groupe.
2. L'action des agents sert à éviter ou à résoudre des conflits potentiels ou actuels[Ferber, 95].

Coordination :

La coordination est définie comme l'acte de gérer les inter-dépendances des différentes activités exécutées pendant la réalisation d'un but. Les inter-dépendances regroupent les prérequis (résultat d'une activité est nécessaire à une autre activité), le partage des ressources et la simultanéité (il existe une synchronisation entre l'exécution des activités). Suivant cette définition, la coordination recouvre les indices de coopération se rapportant au partage des ressources, à la coordination des actions et à la parallélisation des actions[Malone et al . 90].

La coordination définit les interactions entre un ensemble d'agents qui accomplissent des activités collectives[Bond et Gasser, 88].

Malone donne une définition similaire en considérant une structure de coordination comme un modèle de prise de décision et de communication entre un ensemble d'acteurs qui accomplissent des tâches afin de réaliser des objectifs [Malone, 88b].

Durfee et Montgomery considèrent que le but de la coordination est de trouver, parmi un ensemble de comportements d'agents qui interagissent, une collection de comportements qui réalisent d'une façon satisfaisante les objectifs les plus importants des agents [Durfee et Montgomery, 91].

Coordination d'actions :

La coordination d'actions est comme l'ensemble des activités supplémentaires qu'il est nécessaire d'accomplir dans un environnement multi-agents et qu'un seul agent poursuivant les mêmes buts n'accomplirait pas [Malone, 88].

La coordination des actions, dans le cadre de la coopération, peut donc être définie comme l'articulation des actions individuelles accomplies par chacun des agents de manière à ce que l'ensemble aboutisse à un tout cohérent et performant [Ferber, 95].

Croyance :

Les croyances décrivent l'état du monde du point de vue d'un agent, et donc la manière dont il se représente son environnement, les autres agents ainsi que lui-même. En particulier il faut bien distinguer les croyances sur soi des croyances sur les autres, les premières pouvant être cohérentes avec l'état dans lequel se trouve l'agent, alors que les secondes ne sont que partielles et éventuellement erronées [Ferber, 95].

Décision :

Choix arrêté qui rend effectif une action [Micaelli, 94].

Décider, c'est identifier et résoudre les problèmes que rencontre toute organisation [Le Moigne, 74].

Décision stratégique :

Concerne la politique générale de l'entreprise à long terme [Ansoff, 89].

Ce sont des décisions qui portent par exemple sur le choix des produits que l'entreprise fera et des marchés où elle vendra. [Anthony, 65], [Burlat, 96].

Les décisions prises aux niveaux stratégique et tactique sont considérées comme des décisions de contrôle appelées méta-décisions " qui fait quoi , selon quels critères "[Mintzberg et al . 76].

Décision tactique (administrative) :

Elles servent à la gestion des ressources en vue d'obtenir les meilleurs résultats possibles [Anthony, 65], [Burlat, 96].

...toutes les décisions visant à obtenir et à utiliser efficacement les ressources disponibles pour atteindre effectivement " des objectifs assignés "[Anthony, 65].

Décision opérationnelle :

C'est une décision qui assure la flexibilité quotidienne nécessaire pour faire face à la demande, dans le respect des décisions tactiques [Ansoff, 89].

Les décisions opérationnelles ont pour but d'obtenir de l'exploitation courante le maximum de profit [Anthony, 65] [Burlat, 96].

Les décisions opérationnelles sont des décisions par lesquelles on mène effectivement et efficacement à bien des tâches spécifiquement prédéfinies [Le Moigne, 74].

Décision réflexe :

Les décisions réflexes sont émises par le système infèrent lorsqu'il reconnaît une situation déjà répertoriée, composée d'intentions habituelles, d'informations répétitives, et de rationalités stables et connues [Burlat, 96].

Décision structurée :

Les décisions structurées correspondent au cas où, bien que l'information ne soit pas complète, le décideur sait qu'il peut faire appel à un certain nombre d'algorithmes, de structures de raisonnement,

qui seront susceptibles de l'aider grandement à avancer dans la phase de résolution [Le Moigne, 74] [Burlat, 96].

Décision non-structurée :

La décision non-structurée ou faiblement structurée pour laquelle la multiplicité des critères à prendre en compte peut décourager la formalisation. Cette décision peut à l'extrême limite devenir irrationnelle ou injustifiable [Le Moigne, 74], [Burlat, 96].

Emergence :

C'est l'apparition d'un organe nouveau ou de propriétés nouvelles d'ordre supérieur [Le petit Robert].

Engagement :

Les engagements caractérisent les dépendances (devoirs, contraintes...) qui lient les agents cognitifs par rapport à eux-mêmes, mais surtout par rapport aux autres lorsqu'ils décident d'accomplir une action, de rendre un service et, d'une manière générale, lorsqu'ils ont l'intention de faire quelque chose [Ferber, 95].

Expertise :

L'expertise est une connaissance qui relève de la spécialisation (connaissance approfondie dans un domaine particulier). Elle s'appuie sur une longue expérience reconnue. Sa finalité est de résoudre des problèmes pointus et non standards [Bruneau et al . 92].

Aptitude à résoudre un problème complexe en temps fini, de façon viable, sur la base d'une expérience donnée [Micaelli, 94].

Indicateur de performance :

Les indicateurs de performance constituent une solution possible pour évaluer l'entreprise à partir de la recherche d'objectifs quantifiables.

Un indicateur de performance c'est :

- une donnée exprimée en quantité et non en valeur,
- qui mesure l'efficacité,
- de tout ou partie d'un processus ou d'un système,
- par rapport à une norme, un plan ou un objectif,
- qui aura été déterminé et accepté [Bonnefous,][Pole info, 93],

Les indicateurs de performance ne doivent pas constituer une mosaïque de logiques locales, mais un système collectif de logiques partielles traduisant une stratégie globale [Lorino].

Indicateur de processus :

Exemple : La quantité produite [Bonnefous,][Pole info, 93].

Les entreprises occidentales ont toujours privilégié les indicateurs de résultats, les entreprises japonaises, ceux de processus. Les occidentaux comptent les oeufs de la poule, les japonais s'intéressent à la santé de celle-ci. [Greif .M].

Indicateur de résultat :

Exemple : la façon dont la quantité a été produite : nombre d'incidents, rebuts, etc... [Bonnefous,] [Pole info, 93].

Information :

Une information est un fait nouveau, un renseignement ou une connaissance résultant d'une observation [(de) Rosnay, 75].

Une information pour une personne (ou un automate) tout signal, tout message, toute perception qui produit un effet sur son comportement ou sur son état cognitif [Mélèse, 79].

Une information constitue une représentation à un instant donné de notre environnement [Nicolet et al . 84].

Une information est un renseignement, élément de connaissance; elle est l'unité élémentaire de connaissance, elle sert à la constitution de la connaissance [Bruneau et al . 92].

Code émis, transmis et reçu, grâce à un support invariant, au sein d'un système donné [Micaelli, 94].

Une information est un cogniton qui représente une croyance véhiculée par un autre agent et transmise par message [Ferber, 95].

Ingénierie de la connaissance :

Discipline dont l'intérêt est de concevoir des artefacts susceptibles de codifier, de mémoriser, ou de communiquer la connaissance[Micaelli, 94].

Intention (du point de vue de l'IAD) :

Une intention est la déclaration explicite des buts et des moyens d'y parvenir. Elle exprime donc la volonté de l'agent d'atteindre un but ou d'effectuer une action [Searle, 83] [Searle, 90].

Les intentions décrivent ce qui meut un agent, ce qui lui permet de passer à l'acte [Ferber, 95] .

Interaction :

Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques [Ferber, 95].

On appelle situation d'interaction un ensemble de comportements résultant du regroupement d'agents qui doivent agir pour satisfaire leurs objectifs en tenant compte des contraintes provenant des ressources plus ou moins limitées dont ils disposent et de leurs compétences individuelles[Ferber, 95].

Intuition :

L'intuition est une synthèse du savoir acquis qui se déclenche inconsciemment quand un problème se pose, c'est une action réflexe face à un événement. L'intuition paraît être une composante du savoir-faire [Bruneau et al . 92].

Un absolu ne saurait être donné que dans une intuition, tandis que tout le reste relève de l'analyse [Bergson, 48].

Métarationalité :

Propriété d'une action ou d'une structure à améliorer son jugement sur ce qu'elle réalise et comment elle le réalise [Micaelli, 94].

Modèle :

Entité permettant une connaissance ou un contrôle de la réalité. Il est le produit d'une théorie. [Micaelli, 94].

Modèle productique :

Représentation fonctionnelle du système de fabrication utile à sa rationalisation [Micaelli, 94].

Modélisation :

Façon de rendre intelligible une réalité en ayant recours à des éléments contenus en elle (modèle contingent), hors de celle-ci (modèle formel) ou abstraite de celle-ci (modèle abstrait) [Micaelli, 94].

Modéliser :

Modéliser c'est à la fois identifier et formuler quelques problèmes en construisant des énoncés, et chercher à résoudre ces problèmes en raisonnant par simulations. En faisant fonctionner le modèle-énoncé, on tente de produire des modèles solutions. Modélisation et simulation, réflexion et raisonnements, sont les deux faces inséparables de toute délibération [Le Moigne, 90].

Motivation :

La motivation est propre à chacun. C'est un agglomérat de plusieurs types de désirs : vouloir se perfectionner, donner un sens à son métier, éveiller sa curiosité, travailler sur soi-même, chercher à apprendre. Elle se relève peut-être de la volonté de se construire soi-même et de s'accomplir [Bruneau et al . 92].

Négociation :

La négociation désigne une stratégie de résolution qui utilise le dialogue pour parvenir à un accord visant à résoudre des conflits de croyances ou de buts. Les conflits de croyances sont produits par l'existence de contradictions entre les croyances des différents agents. Ils sont dus au fait que les agents possèdent des connaissances incomplètes voire erronées [Bouron, 92].

Organisation :

L'organisation désigne un ensemble d'agents travaillant ensemble au cours de la résolution d'une ou de plusieurs tâches. Le concept d'organisation peut être exprimé à partir des concepts plus élémentaires d'agent et de tâche. Par rapport au concept de tâche, l'organisation désigne les processus qui permettent : la décomposition des tâches en sous-tâches, l'allocation des tâches aux agents et l'accomplissement des tâches dépendantes de façon cohérente. Par rapport au concept d'agent, l'organisation détermine les statuts et les comportements sociaux d'agents (les rôles) et les relations qui permettent d'unir les agents au sein d'un groupe, que ce soit vis à vis de la décision (les liens d'autorité) ou vis à vis de la coordination (les liens d'engagement) [Bouron, 92].

La structure d'une organisation peut être simplement définie comme la somme totale des moyens employés pour diviser le travail en tâches distinctes et pour ensuite assurer la coordination nécessaire entre ces tâches [Mintzberg, 79].

Raisonnement :

Les différents types de raisonnement qui peuvent être utilisés par l'expert afin de traiter une tâche sont [Benchimol, 86] :

- Inductif : à partir de faits, dégager des caractéristiques générales;
- déductif : à partir de propriétés générales, identifier des propriétés plus particulières;
- itératif : répétition d'une même partie de raisonnement pour faire évoluer un fait vers un but;
- récuratif : dégager une propriété générale d'une propriété dont on a montré de proche en proche qu'elle est vraie pour un ensemble de faits;
- par l'absurde : montrer que la négation d'une conclusion est fautive;
- par spécialisation : restriction des propriétés générales à un contexte particulier;
- par analogie : association de faits ou événements de caractéristiques communes ou très voisines;
- élimination ou réduction des différences.....;

Dans les systèmes experts, on distingue avant tout les raisonnements progressifs et régressifs, qui conduisent à deux mécanismes d'inférence dans les moteurs : à partir des données (dit ' *chaînage avant* ') ou à partir des buts (dit ' *chaînage arrière* ') [Laurière, 82] [Farreny, 85].

Rationalisation :

Sens général : Procédure idéale-typique par laquelle sont évaluées et modifiées, sur une période donnée, les actions en vue d'une efficacité (efficacité est la capacité à produire un effet plus pertinent) accrue. [Micaelli, 94].

Rationalité :

Propriété d'une action ou d'une structure à rendre adéquats des moyens à des objectifs (rationalité instrumentale ou rationalité en moyens ou rationalité praxéologique ou rationalité technique) ou à assurer la cohérence entre des fins (rationalité axiologique), de façon à priori (rationalité substantive) ou à mesure de son déroulement ou de son histoire (rationalité procédurale). Une action rationnelle est finalisée, évaluable, et justifiable [Micaelli, 94].

Rationalité évaluative :

C'est une rationalité qui se réfère aux objectifs apparemment visés par les décideurs, ainsi qu'aux critères d'évaluation des résultats [Van Gigch, 91].

Rationalités du niveau propre :

Les rationalités substantive et procédurale sont en général issues du niveau propre [Van Gigch, 91].

Rationalité structurelle :

Qui oriente la constitution de la structure de prise de décision. Elle se réfère à la question de savoir quel type de décision doit être prise, comment, quand et par qui [Van Gigch, 91].

Rationalité procédurale :

Qui renvoie au problème du choix des procédures de prise de décision [Van Gigch, 91].

Rationalité substantive :

Qui est constituée à partir d'un ensemble de connaissances appartenant à un paradigme. Cette rationalité renvoie à la substance du savoir et permet de guider les actions [Van Gigch, 91].

Réactivité :

Délai nécessaire pour répondre à un besoin [Micaelli, 94].

Requête :

Les requêtes sont des actions effectuées par un agent afin qu'un autre agent accomplisse une action (faire quelque chose, répondre à une question,) [Ferber, 95].

Savoir :

Le savoir est autre chose qu'un simple stock d'informations. Il se compose certes d'informations, mais triées, mises en forme, interprétées de façon à en obtenir une représentation. Le savoir se compose d'idées, de concepts, d'images plus ou moins systématisés.

Le savoir est un processus; il évolue constamment dans le temps [Bruneau et al . 92].

Informations stockées, accessibles, transmises et susceptibles de donner une certification à son détenteur [Micaelli, 94].

Savoir-faire :

Savoir-faire est un ensemble d'informations permettant de rendre opérationnels des savoirs [Bruneau et al . 92].

Savoir théorique :

Savoir théorique est un ensemble d'informations générales, pas forcément opérationnelles [Bruneau et al . 92].

Savoir-être :

Le savoir-être est un ensemble d'informations comportementales(exemple : la patience) [Bruneau et al . 92].

Système multi-agents :

On appelle système multi-agent (SMA), un système composé des éléments suivants :

- 1 . Un environnement E, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- 2 . Un ensemble d'objet O. Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E. Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
- 3 . Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers ($A \subseteq O$), lesquels représentent les entités actives du système.
- 4 . Un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
- 5 . Un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.
- 6 . Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers [Ferber, 95].

Systemique :

Doctrine de modélisation. Opposée à la doctrine analytique. La systémique peut se définir comme une méthodologie de modélisation. Elle propose un certain nombre de postulats relatifs à la réalité, aux capacités épistémiques du modélisateur et à l'efficacité des modèles, qui doivent être admis pour qu'un modèle ou qu'une démarche de modélisation soient jugés satisfaisants [Micaelli, 94].

Tableau noir :

Le modèle de tableau noir (blackboard) définit une architecture qui organise la résolution de problèmes par coopération de plusieurs modules, appelés *sources de connaissances*, autour d'une base de données partagée appelée *tableau noir*. Chaque source de connaissances vient lire ou écrire sur le tableau noir.

D'une façon générale, le rôle d'une source de connaissances est de résoudre un sous problème particulier en fonction de l'état du tableau noir.

NB : Le terme tableau noir désigne à la fois le modèle et la base partagée [**Labidi et al . 93**].

Bibliographie du glossaire

- [Alliot et schiex, 93] J.-M. ALLIOT & T. SCHIEX. *Intelligence Artificielle & Informatique théorique*, Cépaduès-Éditions, 1993.
- [Ansoff, 89] H. ANSOFF. *Stratégie du développement de l'entreprise*. Paris. Éditions d'organisation.
- [Anthony, 65] R. ANTHONY. *Planning and control systems : A framework for analysis*, Harvard University Press, 1965.
- [Anzieu et al . 68] D.ANZIEU et J.Y. Martin. *La dynamique des groupes*, p189.
- [Aussenac, 89] N.AUSSENAC. *Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition de connaissances expertes*. Thèse de doctorat en informatique, Université Paul Sabatier de Toulouse.
- [Benchimol, 86] G. BENCHIMOL, P. LEVINE, et J.C. POMEROL. *Systèmes experts dans l'entreprise*, Paris : Ed. HERMES, "Gestion et productique", mai 1986.
- [Bergson, 48] H. BERGSON. *L'évolution créatrice*, P.U.F.
- [Bond et Gasser, 88] A.H. BOND et L.GASSER. *Reading in distributed artificial intelligence*, Morgan Kaufmann publishers, Inc, 1988.
- [Bouron, 92] T. BOURON. *Structure de communication et d'organisation pour la coopération dans un univers multi-agents*, thèse de doctorat, université Paris 6.
- [Bruneau et al . 92] J-M BRUNEAU et J-F PUJOS. *Le management des connaissances dans l'entreprise : ressources humaines et systèmes d'information*, Éditions d'Organisation .
- [Burlat, 96] P. BURLAT. *Contribution à l'évaluation économique des organisations productives : vers une modélisation de l'entreprise compétences*, thèse de doctorat en science économique, école des mines de St-Etienne.
- [Dausset, 90] J. DAUSSET. *La définition biologique du soi, dans soi et non-soi*, sous la direction de J.Bernard, M.Bessis, et C.Debru, Éditions du Seuil.
- [Demazeau et al . 90] Y. DEMAZEAU et J.P. MULLER. *Decentralized artificial intelligence*, proceeding of the 1st modelling autonomous agents and multi-agents worlds, Cambridge : North-Holland.
- [Devlin, 91] K. DEVLIN. *Logic and information*, Cambridge University Press.
- [Durfee et Montgomery, 91] E.H. DURFEE et T. MONTGOMERY. *Coordination as distributed search in a hierarchical behavior space*, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. 21, no.6, pp. 1363-, november/december 1991.
- [Falzon, 88] P. FALZON et W. VISSER. *Recueil et analyse de l'expertise dans une activité de conception, psychologique française, psychologie de l'expertise*, J.P. CAVERNI Ed., tome 33-3, Nov. 88, pp. 133- 138.
- [Farreny, 85] H. FARRENY. *Les systèmes experts : principes et exemples*, Éditions Cépaduès, 1985.
- [Ferber, 95] J. FERBER. *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*, InterEdition.
- [Galliers, 88] J.R GALLIERS. *A Theoretical Framework for Computer Models of Cooperative Dialog, Acknowledging Multi-agent Conflict*, Open University (UK).
- [Ganascia, 91] J.G GANASCIA. *L'hypothèse du " knowledge level " : théorie et pratique*, rapport de Laforia n 20 .
- [Hoc, 87] J.M HOC. *Psychologie cognitive de la planification*, PUG, Grenoble, 1987.

- [Labidi et al . 93] S. LABIDI, W. LEJOUAD. *De l'IAD aux SMA*, rapport de recherche n 2004 INRIA-Sophia Antipolis.
- [Lakatos, 76] I. LAKATOS. *Proofs and refutations*, Cambridge University Press.
- [Laurière, 82] J.L. LAURIERE. *Représentation et utilisation des connaissances*, 1ère partie : Systèmes Experts, TSI Vol 1, n 1,1982.
- [Le Moigne, 74] J.L. LE MOIGNE. *Les systèmes de décision dans les organisations*, PUF.
- [Le Moigne, 90] J.L. LE MOIGNE. *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod.
- [Lespérance et al . 95] Y. LESPERANCE, H.J. LEVESQUE et F. LIN. *Fondements d'une approche logique à la programmation d'agents*, in 3ème Journées Francophones sur l'IAD & les SMA, St-Baldolph, France 15-17 mars.
- [Malone, 88a] T.W. MALONE. *What is coordination theory*, in National Science Foundation Coordination Theory Workchop, MIT.
- [Malone, 88b] T.W. MALONE. *Modeling cooperation in organizations and markets*, in reading in distributed artificial intelligence, A.H. BOND et L.GASSER, (Eds) Morgan Kaufmann Publishers, Inc, 1988.
- [Malone et al . 90] T.W. MALONE et K. CROWSTON. *What is coordination theory and how it can help design cooperative work systems*, proceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work, Tora Bikson and frank Halasz editors, pp. 357-370.
- [Mélèse, 79] J. MELESE. *Approche systémique des organisations : vers l'entreprise à complexité humaine*, Homme et Techniques.
- [Micaelli, 94] J.P Micaelli. *Contribution à une ingénierie économique des systèmes de production : fondements et expérimentation*, thèse de doctorat en sciences économiques, Université Lumière Lyon 2.
- [Mintzberg et al . 76] H.MINTZBERG, D.RAISINGHANI et A. THEORET. *The structure of 'instructured' decision processes*, Administrative Science Quarterly, 21,1976.
- [Mintzberg, 79] H.MINTZBERG. *The structuring of organizations : a synthesis of the research*, Prentice-Hall.
- [Moraitis, 94] P. MORAITIS. *Paradigme multi-agent et prise de décision distribuée*. Thèse de doctorat en informatique, université Paris-Dauphine.
- [Newell, 82] A. NEWELL. *The knowledge Level*, Artificial Intelligence, 18(1), p. 87-127.
- [Nicolet et al . 84] J.L NICOLET et J.CELIER. *La fiabilité humaine dans l'entreprise*, Edition Masson.
- [Pitrat, 90] J. PITRAT. *Métacognition. Future de l'intelligence artificielle*, Editions Hermès.
- [(De) Rosnay, 75] J. DE ROSNAY. *Le microscope : vers une vision globale*, Edition du Seuil.
- [Searle, 83] J.R SEARLE. *Intentionality : An Essay in the philosophy of mind*, Cambridge University Press, New York.
- [Searle, 90] J.R SEARLE. *Intention in communication*, chapter 19 : Collective Intentions and actions, pp. 401-415. MIT Press, London.
- [Simon, 60] H.A. SIMON. *The new science of management decision*,
- [Van Gigch, 74] J. P. VAN GIGCH. *Applied general system theory*, Harper & Row publishers, New York, 74.
- [Van Gigch, 87] J. P. VAN GIGCH. *Decision making about decision making : Metamodels & meta systems*, Abacus Press, Cambridge, Mass., 1987.

[Van Gigh, 91] J. P. VAN GIGCH. *System design modeling and metamodeling*. Plenum Press, New York, 91.