



HAL
open science

Contribution des Sciences Sociales dans le domaine de l'Intelligence Artificielle Distribuée: ALONE, un modèle hybride d'agent apprenant.

Isabelle Jars

► To cite this version:

Isabelle Jars. Contribution des Sciences Sociales dans le domaine de l'Intelligence Artificielle Distribuée: ALONE, un modèle hybride d'agent apprenant.. Autre [cs.OH]. Université Claude Bernard - Lyon I, 2005. Français. NNT: . tel-00011135

HAL Id: tel-00011135

<https://theses.hal.science/tel-00011135>

Submitted on 1 Dec 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

présentée

devant l'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

pour l'obtention

du DIPLÔME DE DOCTORAT

(arrêté du 25 avril 2002)

présentée et soutenue publiquement le 28 Novembre 2005

par

Isabelle JARS

**Contribution des Sciences Sociales dans le domaine
de l'Intelligence Artificielle Distribuée :
ALONE, un modèle hybride d'agent apprenant**

Directeur de thèse : Mr Michel LAMURE

JURY : Mr Marc BUI, Rapporteur

Mr Nicolas NICOLOYANNIS, Rapporteur

Mr Jean CHARLET, Président et Examineur

Mme Zahia GUESSOUM, Examineur

Mr Michel LAMURE, Directeur de thèse

Mme Nadia KABACHI, Co-directeur de thèse

THESE

présentée

devant l'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

pour l'obtention

du DIPLÔME DE DOCTORAT

(arrêté du 25 avril 2002)

présentée et soutenue publiquement le 28 Novembre 2005

par

Isabelle JARS

**Contribution des Sciences Sociales dans le domaine
de l'Intelligence Artificielle Distribuée :
ALONE, un modèle hybride d'agent apprenant**

Directeur de thèse : Mr Michel LAMURE

JURY : Mr Marc BUI, Rapporteur

Mr Nicolas NICOLOYANNIS, Rapporteur

Mr Jean CHARLET, Président et Examineur

Mme Zahia GUESSOUM, Examineur

Mr Michel LAMURE, Directeur de thèse

Mme Nadia KABACHI, Co-directeur de thèse

REMERCIEMENTS

Ah la page des remerciements... C'est finalement la page que j'enviais à toutes les thèses que je pouvais lire puisque c'est celle qui marque la fin de trois années de travail et qui conclut définitivement une vie d'étudiant. Je me rends compte subitement que c'est la page la plus difficile à écrire car c'est celle qui sera, sans aucun doute, la première à être lue et la dernière à être retenue sur mes deux cents pages de manuscrit. Une question me vient à l'esprit : comment remercier toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue durant ces années sans philosopher sur chacune d'entre elles comme j'ai tendance à le faire chaque fois que je me mets à écrire quelques lignes. Ce n'est d'ailleurs pas mes directeurs qui me contrediront sur ce fait puisqu'ils ont dû parfois supprimer quelques unes de mes citations qu'ils jugeaient plus en adéquation avec l'écriture d'un roman que celui d'un travail de recherche.... Mais bon, mes premiers remerciements leur seront bien évidemment adressés puisque sans eux cette thèse n'aurait sans doute jamais vu le jour. Je remercie donc Mr Michel Lamure pour la confiance qu'il m'a accordée dès le début me permettant ainsi d'élaborer un travail personnel et propre à mes aspirations. Je le remercie également pour ses compétences de recherche et son ouverture d'esprit qui m'ont conduite à tirer le meilleur parti de mes capacités intellectuelles. Je remercie ensuite, mon co-directeur, ou plutôt devrai-je dire ma co-directrice, Mme Nadia Kabachi pour le temps et la patience dont elle a fait preuve tout au long de ces années mais aussi d'avoir cru en mes idées pluridisciplinaires que j'allais glaner auprès des sciences sociales. Je la remercie également d'avoir encadré mon travail avec beaucoup d'enthousiasme et d'avoir su me conseiller efficacement tout en me laissant travailler librement sur mon sujet.

Une thèse ne pourrait être présentée sans l'évaluation de la qualité et de l'originalité de la recherche par un jury. Mes seconds remerciements iront donc, tout naturellement, à ces personnes qui ont jugé ce travail avec conscience et impartialité. Je remercie tout d'abord mes deux rapporteurs, Mr Marc Bui et Mr Nicolas Nicoloyannis, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de lire mon manuscrit et d'avoir apporté des remarques et des commentaires constructifs. Je les remercie de leur gentillesse et leur compréhension à travers chacun des e-mails que nous avons échangés. Je remercie mon premier examinateur, Mr Jean Charlet pour sa sympathie et sa confiance tout au long de mon travail. Je le remercie d'avoir pu travailler sur une ontologie issue d'un projet européen et de m'avoir donné toutes les explications nécessaires avec beaucoup de patience et d'humour. Je remercie également, mon second examinateur, Mme Zahia Guessoum d'avoir pris le temps de m'expliquer le fonctionnement de sa plate-forme multi-agents (de m'avoir à la fois fourni des exemples illustratifs et des explications théoriques). Je la remercie également d'avoir répondu rapidement à chacune de mes interrogations et d'avoir su me donner des conseils pertinents sur la construction de mon modèle.

Un thésard ne peut finalement effectuer correctement son travail sans avoir un endroit où empiler les articles trouvés sur Internet, les diverses autres thèses qu'il s'est imprimées, les stylos et les différents badges qu'on lui a remis lors des conférences... Ce lieu fut pour moi le Laboratoire d'Analyse des Systèmes de Santé. Je remercie, tout d'abord, son directeur Mr Jean-Paul Auray, pour avoir accepté de m'accueillir durant ces trois années et m'avoir donné tout le matériel nécessaire à l'élaboration de ma recherche. Je remercie également chacun des membres du LASS (Gérald, Denis, Béatrice, Stéphane, Ahmed, Gérard Duru et Gérard Bertolini, Claire, Agnès, Christian...) pour avoir su créer une ambiance conviviale et parfois familiale favorable au bon déroulement de mon travail.

J'adresserai un remerciement particulier à Mr Daniel Tounissoux pour avoir eu la gentillesse, la patience et le temps de m'expliquer les subtilités de l'agrégation d'opinions. Je tiens également à remercier le personnel administratif du LASS à savoir Colette, Marcelle, Myriam et notre nouveau secrétaire, Jean-Pierre, pour avoir eu la lourde tâche de s'occuper de l'organisation de mes divers déplacements en conférences et de la réservation de ma salle de soutenance de thèse.

Pour pouvoir être convainquant lors de conférences internationales, un thésard doit à la fois faire partie d'un groupe de travail lui permettant d'être toujours au courant des dernières découvertes sur son sujet, et connaître un bon traducteur pour lui faire travailler son anglais. Sur ce point, je remercie les membres du groupe ASA qui m'ont permis de me forger une opinion sur chacune des plates-formes multi-agents existantes et de développer mon esprit critique sur un sujet particulier. Je remercie aussi Mme Susan Smith qui a eu la gentillesse et surtout la patience de relire (et même plutôt de décrypter !) plusieurs fois mes articles et résumés en anglais dans des délais parfois très limités....

Jusqu'à présent, je vous ai montré seulement l'aspect peu attractif de la thèse : de longues heures de travail, de rédaction, de relecture, d'entraînement à l'oral.... A côté de cela, il ne faut pas oublier qu'un thésard peut aussi avoir une vie sociale palpitante et plutôt amusante qui lui fait, heureusement, oublier le stress du quotidien... Pour cela, je remercie mes deux collègues de bureau, Clémentine et Mounzer, pour avoir organisé des Karaokés sur Alizée et Lorie. Je remercie Géraldine pour m'avoir fait découvrir un concert de la Star Academy avec des gamines d'une quinzaine d'années. Je remercie Anne de m'avoir accompagnée avec Clémentine boire quelques verres de Vodka flambée certains soirs de la semaine... Je remercie Mathilde et Erik d'être venue faire la « promenade des petits lapins » sous un orage sans un arbre pour s'abriter. Et enfin, je remercie tout mon groupe d'anglais du lundi soir pour nous avoir fait goûter leur liqueur de confection personnelle....

Et voilà, je ne voulais pas trop me prendre au jeu des remerciements mais ces deux pages sont vite formalisées. Pourtant, je ne pourrai les conclure sans remercier énormément toute ma famille et toutes les personnes de mon entourage qui m'ont fortement soutenue tout au long de ces années et ont su comprendre mes absences de certains jours. Je remercie mes parents de m'avoir toujours entourée comme il se devait et d'avoir su trouver les mots qu'il fallait pour me remonter le moral lorsque cela était nécessaire. Je les remercie également d'avoir pris le temps de relire attentivement mes deux cents pages de manuscrit et d'avoir essayé de comprendre l'intérêt de mon sujet de thèse. Je remercie aussi ma soeur, Stéphanie, de m'avoir supportée (je suis persuadée qu'elle pensera que ce mot est faible !) pendant ces trois années et de m'avoir divertie et changé les idées certains soirs en me racontant ses expériences palpitantes d'élève infirmière. Je remercie Luc, qui a peut-être eu la plus mauvaise idée de sa vie en me rencontrant lors de ma première année de thèse. Je le remercie pour tout son soutien, sa patience, ses longues heures de travail avec moi et ses conseils très professionnels, rigoureux et judicieux pour le développement informatique de mon modèle.

Enfin, je terminerai par une pensée pour mes deux grand-mères qui n'auront pas eu la chance de voir l'aboutissement de mon travail et d'être présentes lors de ma soutenance en cette fin d'année 2005.

Table des matières

I	Introduction	13
1	Introduction	15
1.1	Motivations	15
1.1.1	Apprentissage: point de vue de la psychologie	15
1.1.2	Apprentissage: point de vue de l'Intelligence Artificielle Distribuée	16
1.1.3	Et du point de vue pluridisciplinaire?	16
1.2	Contribution	17
1.3	Organisation de la thèse	18
1.3.1	Partie 1: État de l'art	18
1.3.2	Partie 2: Alone	19
1.3.3	Partie 3: Applications et validation	19
1.3.4	Partie 4: Conclusion et perspectives	19
II	Sciences Cognitives et Intelligence Artificielle Distribuée, une même conviction: « Penser, c'est traiter de l'informa- tion »	21
2	Les Sciences Cognitives: une révolution au niveau de la connaissance	23
2.1	La psychologie: une science de l'esprit	24
2.1.1	Introduction	24
2.1.2	Le behaviorisme	24
2.1.3	Le constructivisme et l'apprentissage social	26
2.1.4	Le courant socio-culturel	28
2.1.5	La psychologie cognitive	30
2.1.6	Conclusion	31
2.2	La linguistique: une science du langage	31
2.2.1	Introduction	31
2.2.2	Le langage et son fonctionnement	32
2.2.3	Le TALN: un nouveau défi pour les linguistes	35
2.2.4	Conclusion	39
2.3	La psychologie sociale: une science de l'interaction	40
2.3.1	Introduction	40
2.3.2	Kurt Lewin et la dynamique des groupes	41
2.3.3	Détermination d'interactions et de profils de comportements sociaux	42
2.3.4	La confiance: une notion indispensable mais complexe	44
2.3.5	Conclusion	46
2.4	Discussion	46

3	Les Systèmes Multi-Agents : l'avenir de l'Intelligence Artificielle?	49
3.1	Quelques définitions de base	50
3.1.1	Qu'est-ce qu'un agent?	50
3.1.2	Qu'est-ce qu'un système multi-agents?	54
3.1.3	Synthèse	56
3.2	La notion d'apprentissage dans les SMA	56
3.2.1	Introduction	56
3.2.2	Apprentissage par renforcement et Q-learning	57
3.2.3	Apprentissage par explications, Programmation logique inductive et Raisonnement à partir de cas	61
3.2.4	Les algorithmes génétiques	64
3.2.5	Discussion sur l'apprentissage en SMA	65
3.2.6	Conclusion	67
3.3	La communication dans les SMA	68
3.3.1	Introduction	68
3.3.2	Quelques langages de communication...	68
3.3.3	La notion d'ontologie	71
3.3.4	Conclusion	76
3.4	La confiance en univers multi-agents	77
3.4.1	Introduction	77
3.4.2	Steve Marsh et l'agent confiant	77
3.4.3	Confiance et développement des réseaux	78
3.4.4	Modèle multi-agents de gestion de confiance	78
3.4.5	Conclusion	79
3.5	Discussion	79
III Alone : un modèle d'agent apprenant		81
4	Agents et environnement ALONE	83
4.1	Introduction	83
4.2	Interaction et communication	84
4.2.1	Interaction vs Communication	84
4.2.2	La communication : pourquoi utiliser le langage naturel?	85
4.3	Architecture des agents proposés dans ALONE	86
4.3.1	Introduction	86
4.3.2	Les participants	87
4.3.3	L'apprenant	93
4.3.4	Le conseiller	102
4.4	Synthèse	110
5	Décrire un comportement d'apprenant	113
5.1	Introduction	113
5.2	Étape 1 : Écoute passive des conversations et calcul de confiance	114
5.2.1	Introduction	114
5.2.2	L'analyse textuelle du module d'apprentissage	115
5.2.3	L'analyse statistique du module d'apprentissage	118
5.2.4	Le calcul de confiance par participant	120
5.2.5	Conclusion	124

5.3	Étape 2: Apprentissage de nouveaux termes et mise à jour de l'ontologie	125
5.3.1	Introduction	125
5.3.2	Validation d'un terme auprès des participants	126
5.3.3	Mise à jour de l'ontologie de l'apprenant	127
5.3.4	Conclusion	130
5.4	Ordonnancement de l'exécution du processus d'apprentissage	131
5.4.1	Ordonnancement initial du processus d'apprentissage	131
5.4.2	Gestion de l'arrivée d'un nouveau participant	133
5.4.3	Gestion du départ d'un participant	135
5.4.4	Synchronisation pour un nouveau dialogue	136
5.5	Synthèse	138

IV Validation du modèle: Implémentation et Expérimentations 141

6	Implémentation d'ALONE	143
6.1	Introduction	143
6.2	DIMAX: une architecture modulaire d'agent	144
6.2.1	Introduction	144
6.2.2	Fonctionnement de DIMA à travers un agent	145
6.2.3	Fonctionnement du distribué avec DARX	147
6.2.4	Conclusion	149
6.3	BasicComAgent: une classe de lien entre DIMAX et ALONE	150
6.3.1	Objectifs de cette classe	150
6.3.2	Performatives utilisées dans ALONE	151
6.4	Fonctionnement des agents dans ALONE	152
6.4.1	Les participants	152
6.4.2	L'apprenant	153
6.4.3	Le conseiller	157
6.5	Lancement d'ALONE	158
6.5.1	L'interface de lancement	158
6.5.2	Le fichier de configuration	159
6.6	Conclusion	161
7	Expérimentations, évaluation et validation d'ALONE	163
7.1	Introduction	163
7.2	Présentation de l'ontologie du projet MENELAS	164
7.2.1	Intérêt de créer une ontologie médicale	164
7.2.2	Objectifs du projet MENELAS	165
7.2.3	Exemple de structure de l'ontologie	165
7.3	Description et résultats du fonctionnement des scénarii utilisés	167
7.3.1	Introduction	167
7.3.2	Quelques informations préliminaires...	167
7.3.3	Scénarii relatifs à la description de pathologies	168
7.3.4	Scénarii relatifs à des méthodes de chirurgie cardiaque et de cathétérisme	173
7.3.5	Scénarii relatifs aux facteurs de risque des maladies cardio-vasculaires	180
7.3.6	Conclusion	183

7.4 Synthèse	183
V Conclusion et Perspectives	185
8 Conclusion	187
8.1 Introduction	187
8.2 Contributions et apports	187
8.2.1 Un modèle et un environnement d'agent apprenant	188
8.2.2 Une implémentation opérationnelle	189
8.2.3 Une application dans le domaine de la santé	189
8.2.4 Des apports dans les deux disciplines	189
8.3 Perspectives	190
8.3.1 Evolutions au niveau du modèle	190
8.3.2 Evolutions au niveau de l'implémentation	192
 VI Bibliographie	 193
 VII Annexes	 203
A Guide d'installation d'ALONE	204
B L'ontologie du projet MENELAS	205
B.1 Extrait de l'ontologie en langage OWL	205
B.2 Règle XSLT permettant de transformer de l'OWL en XML	207
C Détails des scénarii utilisés dans les simulations	208
C.1 Simulation d'une relève de garde	208
C.2 Simulation d'une discussion sur un article dont le sujet porte sur la maladie des artères coronaires	210
C.3 Simulation d'une discussion sur la cardiomyopathie	212
C.4 Simulation d'une discussion sur le déroulement d'une anesthésie	214
C.5 Simulation de la présentation dans un service d'une nouvelle méthode utilisée en chirurgie cardiaque	217
C.6 Simulation d'un groupe de travail sur le cathétérisme cardiaque	219
C.7 Simulation d'une discussion sur l'asthme	223
C.8 Simulation d'une discussion sur l'obésité	225
D Exemple d'échanges lors de l'apprentissage d'un nouveau concept	227
D.1 Apprentissage du concept « Artery »	227

Table des figures

2.1	Architecture et organisation de Lucene	38
3.1	Représentation d'un agent selon Russel et Norvig	50
3.2	Synthèse concernant la définition d'un agent	56
3.3	Exemple de langage ACL	71
3.4	Exemple d'architecture d'une ontologie	73
3.5	La pièce montée de Berners-Lee	75
4.1	Interactions et Communication pour un agent ALONE	84
4.2	Un environnement ALONE composé de trois agents	85
4.3	Les composants d'un agent ALONE et leurs interactions	86
4.4	Le module de communication d'un participant	89
4.5	Détails des interactions entre composants d'un participant	91
4.6	Le module de prise de décision d'un participant	91
4.7	Le module de communication d'un apprenant	97
4.8	Le module de prise de décision d'un apprenant	98
4.9	Le module de communication d'un conseiller	107
4.10	Le module de prise de décision d'un conseiller	108
4.11	Architecture synthétique d'un agent ALONE	111
5.1	Détails du module d'apprentissage	115
5.2	Détails de l'étape 1 du module d'apprentissage	125
5.3	Détails de l'étape 2 du module d'apprentissage	127
5.4	Ordonnancement normal du processus d'apprentissage	132
5.5	Gestion de l'arrivée d'un participant au niveau du module d'apprentissage	134
5.6	Gestion du départ d'un apprenant au niveau du module d'apprentissage	135
5.7	Gestion d'un nouveau dialogue au niveau du module d'apprentissage	137
5.8	Synthèse du fonctionnement d'un apprenant	139
6.1	Architecture logicielle générale	144
6.2	Architecture de DARX	148
6.3	Représentation des tables de la base de données de l'apprenant	154
6.4	Interface de lancement d'ALONE	158
6.5	Exécution d'ALONE en non distribué	159
6.6	Exécution d'ALONE en distribué	160
7.1	Evolution du temps de la simulation en fonction du nombre de participants présents	179
7.2	Evolution du temps de la simulation selon différents scénarii	184

Première partie

Introduction

Chapitre 1

Introduction

« La compétence d'un chercheur est déterminée par sa capacité à trouver l'objet qui a été caché. »
E. Martin.

Apprendre, tout comme rêver, créer ou jouer, fait partie de ces expériences nécessaires qui stimulent et structurent le savoir-faire individuel de tout être humain depuis sa naissance. Qu'il soit biologique (comme marcher, agripper ou regarder avec attention) ou intellectuel (tel que réfléchir, exprimer une opinion ou donner un avis), l'apprentissage est certes un acte fondamental pour l'être humain, mais c'est aussi le processus le plus complexe et le plus subjectif à concevoir. Pas facile finalement de ramener ce mot à un seul synonyme en fonction de ces différents sens puisque « apprendre » une poésie n'est pas « apprendre » à cuisiner et encore moins « apprendre » à compter. Que l'on associe ce terme à de l'acquisition de connaissances ou à de l'observation d'événements, il n'en reste pas moins un concept primordial suscitant l'intérêt de nombreuses recherches aussi bien en sciences sociales qu'en informatique.

1.1 Motivations

1.1.1 Apprentissage : point de vue de la psychologie

En psychologie, l'analyse des comportements des êtres humains constitue une problématique privilégiée de ce domaine. Divers courants se sont développés dans cette perspective et se concentrent aussi bien sur l'apprentissage individuel que sur l'apprentissage collectif. Selon la théorie piagétienne, par exemple, le développement cognitif du sujet est indissociable de l'action. L'apprentissage trouve sa place dans un processus de déséquilibres/rééquilibrations [PIA23]. Le modèle est interactif, constructiviste et systémique (puisqu'il pense les choses en système) mais ne prend en compte ni l'apprentissage au niveau collectif ni l'importance des autres dans ce processus. A l'inverse, les « socio-constructivistes » s'accordent à dire que l'apprentissage ne peut se faire sans l'aide d'autrui et c'est cette confrontation de points de vue qui permet à un individu d'évoluer au cours du temps [IVI94]. Cette théorie met ainsi l'accent sur des aspects sociaux tels que le langage, grâce auquel se développent non seulement l'intelligence de l'individu mais également tout le processus d'apprentissage qui découle de sa communication et de sa collaboration avec les autres.

Comme nous pouvons le constater à travers ces deux courants, pour les psychologues,

l'apprentissage est bien plus qu'un simple mécanisme d'acquisition car il permet aussi le développement de chaque être humain. A partir de là, l'apprentissage peut alors être considéré comme une transformation du comportement individuel à la suite d'épreuves répétées ayant pour but d'accroître l'adaptation de l'être vivant à son milieu [BAN86].

1.1.2 Apprentissage : point de vue de l'Intelligence Artificielle Distribuée

Si en psychologie comprendre l'individu équivaut à étudier les représentations des structures abstraites construites lors de la réalisation d'une tâche cognitive, en Intelligence Artificielle (IA), la modélisation des fonctions de haut niveau de l'esprit humain (raisonnement, langage, apprentissage...) est mise en avant. En effet, pour l'IA, comprendre l'esprit correspond à en construire un modèle à différents niveaux de granularités, quitte à en oublier parfois toute la complexité humaine... D'ailleurs, pour tenter de développer au mieux un parallèle entre les états mentaux humains et les représentations symboliques fournies par un ordinateur, certains chercheurs redoublent d'imagination et vont même jusqu'à expliquer la conscience humaine en la modélisant à l'aide d'une multitude d'agents [DEN95]. Cette idée de faire travailler conjointement un certain nombre d'agents autonomes à la résolution de problèmes complexes a donné naissance à une branche de l'IA, l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD), dont l'objectif est de concevoir des agents artificiels capables de s'organiser efficacement pour accomplir collectivement les tâches qui leur sont demandées. Les paramètres d'imprécisions que pourrait introduire une modélisation mathématique sont davantage pris en compte avec une représentation de type multi-agents; l'apprentissage apparaît même comme un véritable atout pour déterminer un comportement « optimal » qui répond à la plupart des problématiques et situations qu'un agent peut rencontrer. Dans ce cas précis, l'apprentissage se fonde sur l'observation des autres agents ou de l'environnement, et la communication n'est finalement qu'un outil permettant une meilleure coopération entre tous.

Nous voyons alors se profiler une deuxième définition de l'apprentissage en le considérant comme une acquisition de nouvelles connaissances pour le système lui permettant d'évoluer plus facilement. Cependant, à la différence de certains courants psychologiques, l'apprentissage ne repose pas sur le langage et les échanges qui peuvent être réalisés entre les agents au cours du temps. Or, évaluer le type d'informations à communiquer est finalement une problématique capitale si l'on souhaite se rapprocher d'un modèle humain...

1.1.3 Et du point de vue pluridisciplinaire?

En première analyse il apparaît, avec une certaine évidence, que les projets de l'Intelligence Artificielle Distribuée et ceux des sciences sociales sont quelque peu opposés en ce qui concerne l'apprentissage. La première cherche, la plupart du temps, à construire des systèmes capables d'acquérir des comportements en fonction des changements d'un environnement. La seconde postule l'existence d'un esprit capable d'apprendre, l'esprit humain, dont elle souhaite découvrir les propriétés en analysant son fonctionnement au cours du temps. En résumé, l'une part des données pour élaborer un système et l'autre part d'un système (le cerveau) pour générer des données (les connaissances sur le fonctionnement de l'apprentissage).

A considérer plus attentivement l'état actuel des deux disciplines, l'évidence devient plus floue et les choses ne semblent plus aussi simples. Il apparaît, en premier lieu, que de

nombreux systèmes d'apprentissage élaborés en IA présupposent la présence d'un système symbolique dont les composantes tendent de plus en plus à être justifiées par leur compatibilité avec ce que l'on peut savoir du fonctionnement cognitif de l'homme. D'un autre côté, le caractère expansif de l'IA qui, en ajoutant au répertoire théorique du psychologue des mécanismes nouveaux avec des modèles complexes et puissants, apporte des éléments novateurs et constructifs en sciences sociales.

Nous le voyons, l'opposition entre les deux démarches tend à s'estomper et la frontière entre les deux disciplines est de plus en plus perméable et sans doute, convient-il de s'en féliciter. Il reste à notre avis, un point important à soulever : il est clair que dans l'apprentissage humain une partie de ce qui est à apprendre ne relève pas seulement des observations de l'environnement physique (comme le symbolise actuellement la plupart des algorithmes d'apprentissage en informatique) mais aussi des échanges qui s'effectuent entre les différents individus à travers la parole. D'ailleurs, Vygotsky le souligne très bien en affirmant que « la contribution de l'apprentissage tient au fait qu'il met à la disposition de l'individu un outil puissant : le langage » [VYG62]. Une nouvelle voix s'ouvre alors dans l'univers multi-agents : considérer la communication comme une solution au problème de l'apprentissage.

1.2 Contribution

C'est en prenant conscience de cette diversité d'approches et des liens pluridisciplinaires qui en découlent, que nous avons décidé de nous intéresser à la problématique de l'apprentissage. Notre principal dessein réside dans une modélisation de ce comportement humain grâce aux systèmes multi-agents en essayant d'intégrer des recherches issues des sciences cognitives dans notre modèle. Nous voulons avant tout montrer que des travaux caractéristiques en sciences sociales peuvent être conjugués aux spécificités théoriques de l'IAD, et que les contributions qui en découlent sont bénéfiques aux deux disciplines.

Notre approche se situe à la confluence des travaux émanant de la théorie « socio-constructiviste » et des techniques d'IAD. Nous proposons, en effet, une forme hybride de modélisation (baptisée ALONE (Agent Learning by cOmmunication in New Environment)) qui allie d'une part, les caractéristiques des systèmes multi-agents pour la prise de décision, la coopération et la communication inter agents et d'autre part, la mise en évidence du langage dont le rôle n'est pas seulement de transférer des connaissances mais également de réguler des processus mentaux lors des diverses phases de l'apprentissage humain.

Pour réaliser et développer cette approche, il n'existe malheureusement pas de méthodologie précise ou d'outils standards dans le domaine de l'IAD et les méthodes de conception sont relativement rudimentaires. Ces deux constatations font que notre contribution dans ce domaine doit être comprise comme applicative - *i.e.* en simulation - et méthodologique - *i.e.* comment s'inspirer de l'existant pour concevoir des systèmes de simulation adaptés.

Dans notre modélisation, chaque agent possède des caractéristiques qui lui sont propres. Ainsi, chacun gère ses interactions avec les autres et son processus de décision en fonction de ses objectifs, contrairement à une approche par tableau noir où le contrôle est dirigé par une seule entité. A l'image d'une conversation humaine instaurée sur un sujet particulier (comme lors de groupes de travail, de conseils administratifs, de commissions de spécialistes...), nous proposons trois types d'agents présents dans chacune de nos simu-

lations: des agents apprenants ayant pour objectif d'acquérir de nouvelles connaissances afin de pouvoir participer activement à une conversation, des agents participants dont le rôle est d'établir un véritable dialogue avec les autres (comme les êtres humains) et d'aider l'apprenant lors de son processus d'apprentissage, et un agent conseiller chargé non seulement de réguler et surveiller le système mais aussi d'épauler l'apprenant tout au long de son apprentissage. La coordination et l'ensemble de la discussion sont établis par l'envoi de messages dont le contenu a la particularité d'être en langage naturel, de telle façon à mettre en avant une certaine « intelligence verbale » supportée par le langage.

En ce qui concerne l'apprentissage, nous le partageons en deux étapes visant à reproduire l'évolution et la construction d'un individu au cours de son développement : une première étape d'observation et « d'écoute passive » d'une conversation et une seconde étape d'apprentissage de nouveaux concepts grâce aux moments d'échanges entre les agents. Lors de ces deux étapes, nous mettons successivement en œuvre des techniques issues de la linguistique (pour analyser les messages), de l'éthologie des communications (pour quantifier la participation de chacun lors d'une conversation) et des mathématiques (plus spécifiquement une méthode d'agrégation d'opinions, pour accorder plus ou moins de confiance aux propos d'un agent) visant ainsi à conjuguer les avantages et les apports de chacune de ces disciplines.

L'intention finale de notre démarche est de concevoir et réaliser une implémentation de notre modèle la plus autonome possible (*i.e.* qui fonctionne avec un minimum d'intervention de la part de l'utilisateur) représentant l'évolution de certaines fonctions cognitives humaines. Nous nous basons pour cela sur une plate-forme multi-agents existante (DIMAX [GUE00]) afin de représenter et gérer les caractéristiques fonctionnelles des agents (envoi de messages, gestion des accointances...). Nous étendons ensuite ces différentes possibilités de telle façon à intégrer les propriétés de notre modèle. En définitive, le programme développé se nomme ALONE comme notre modèle.

1.3 Organisation de la thèse

L'organisation de ce travail en chapitres suit une progression régulière et ordonnée. Ce document se décompose en quatre parties correspondant au cheminement de notre démarche scientifique : la première partie dresse un état de l'art des deux disciplines clés de notre réflexion : les sciences cognitives et l'Intelligence Artificielle Distribuée, la seconde partie présente notre contribution et les spécificités de notre modèle, la troisième partie s'intéresse plus à l'implémentation et la validation de notre proposition et enfin, la quatrième partie conclut sur notre travail tant au niveau des apports que des ouvertures envisagées.

1.3.1 Partie 1 : État de l'art

La première partie dresse un état de l'art de certaines notions se retrouvant à la fois dans les sciences sociales et les systèmes multi-agents. Elle nous permet ainsi d'évaluer les atouts et les défaillances de chacune de telle façon à ne garder que les avantages qui serviront de fondement à notre proposition. Elle se divise en deux chapitres :

- Le premier chapitre (chapitre 2) se propose de faire un rapide tour d'horizon de quelques unes des disciplines et des domaines d'étude qui composent les sciences cognitives (plus particulièrement la psychologie, la linguistique et la psychologie

sociale). Il met en avant trois notions essentielles que nous retrouvons au fil de ce mémoire : l'apprentissage, le langage et la confiance.

- Le deuxième chapitre (chapitre 3) se place du point de vue de l'IAD et décrit non seulement quelques concepts de base au niveau des agents mais également les mêmes notions que précédemment, à savoir l'apprentissage, le langage et la confiance. Il permet ainsi de nous positionner par rapport à notre problématique et de spécifier nos orientations.

1.3.2 Partie 2 : Alone

La seconde partie de cette thèse introduit notre modèle ALONE tant au niveau de ses caractéristiques générales que du processus d'apprentissage proposé. Elle s'articule autour de deux chapitres :

- Le premier (chapitre 4) présente l'environnement et les agents ALONE. Il expose l'architecture et les objectifs de chacun en détaillant leurs connaissances de base, leurs fonctions et leur cycle de vie.
- Le deuxième (chapitre 5) s'attarde sur les étapes du comportement de l'apprenant et décrit les changements intervenant au sein de celles-ci lors d'une modification de l'environnement (arrivée d'un nouveau participant, départ d'un participant, commencement d'un nouveau dialogue...).

1.3.3 Partie 3 : Applications et validation

La troisième partie valide notre modèle en proposant une implémentation de celui-ci et des expérimentations visant à évaluer les performances de notre programme (en terme de nombre de concepts appris). Elle comprend deux chapitres :

- Le premier (chapitre 6) propose un outil s'appuyant sur une plate-forme multi-agents et intégrant toutes les particularités inhérentes à notre modèle. Il décrit son fonctionnement, son installation et son lancement par l'utilisateur.
- Le deuxième (chapitre 7) vérifie la validité de notre proposition dans un domaine particulier : celui de la santé. Il explique l'ontologie que nous avons utilisée, les dialogues que nous avons créés et les résultats qui en découlent.

1.3.4 Partie 4 : Conclusion et perspectives

Cette dernière partie sert, tout simplement, de conclusion à ce mémoire et revient sur nos objectifs de départ. En outre, elle offre un bilan de notre travail et des perspectives d'évolution que nous envisageons par la suite.

Deuxième partie

Sciences Cognitives et
Intelligence Artificielle Distribuée,
une même conviction :
« Penser, c'est traiter de
l'information »

Chapitre 2

Les Sciences Cognitives : une révolution au niveau de la connaissance

« Quel ingénieur, à supposer qu'il puisse doter sa créature d'une raison, réussirait, même en employant tous les moyens de la science cybernétique, à la pourvoir de cette fleur de liberté, de ce don magique qu'on appelle caprice, et qui fait ramper les philosophes aux pieds d'une ballerine? »

M. Petit.

« ... Et dès que j'eus reconnu le goût du morceau de madeleine trempé dans le tilleul que me donnait ma tante (quoique je ne susse pas encore et dusse remettre à bien plus tard de découvrir pourquoi ce souvenir me rendait si heureux), aussitôt la vieille maison grise sur la rue, où était sa chambre, vint comme un décor de théâtre s'appliquer au petit pavillon donnant sur le jardin, qu'on avait construit pour mes parents sur ses derrières; et, avec la maison, la ville, depuis le matin jusqu'au soir et par tous les temps, la place où on m'envoyait avant déjeuner, les rues où j'allais faire des courses, les chemins qu'on prenait si le temps était beau. » [PRO01] Que se passe-t-il exactement dans la tête de ce personnage? Comment les souvenirs s'enchaînent-ils dans son esprit? Sa pensée passe-t-elle par des mots, des images, des sons, des odeurs? Peut-on décomposer sa pensée en une série d'opérations logiques simples qui se combindraient entre elles? Tel est l'objet des sciences cognitives: essayer d'explorer les mécanismes de la pensée en action. Cette recherche exige, comme nous pouvons nous en douter, le recours à plusieurs disciplines.

La psychologie, se préoccupe, par exemple, de découvrir les étapes mentales par lesquelles passe une personne pour réaliser un but. Tandis que l'intelligence artificielle traduit plutôt le problème sous forme d'un algorithme informatique, c'est à dire une procédure de résolution de problèmes réalisable par un ordinateur. La coopération de ces diverses approches permet enfin de réaliser un vieux rêve: comprendre comment le cerveau fonctionne pour percevoir, connaître, apprendre, et penser. Ainsi, Howard Gardner n'avait pas tort de parler de « révolution » [GAR85] à propos de l'émergence de ces sciences.

Le domaine cognitif désignant tout ce qui a trait à la connaissance - de la perception (visuelle, auditive, tactile...) à l'intelligence (calcul, résolution de problèmes, intuition, choix stratégique), en passant par le langage, la mémoire, l'apprentissage..., nous nous proposons, dans ce deuxième chapitre, de faire un rapide tour d'horizon de quelques unes de ces disciplines et des domaines d'étude qui les composent afin de mieux cerner leur

champs d'application. Nous verrons donc successivement les trois disciplines suivantes : la psychologie, la linguistique et la psychologie sociale.

2.1 La psychologie : une science de l'esprit

2.1.1 Introduction

La psychologie, de manière générale, ne connaît pas les mots « penser », « connaître » ou « réfléchir », non, ce sont des mots bien trop courants sans véritables concepts scientifiques derrière. Les chercheurs préfèrent donc parler de « processus cognitifs » ou de « cognition » pour désigner les différents types d'opérations mentales. Par exemple, une activité aussi singulière que la lecture nécessite à la fois de percevoir et de reconnaître des signes (lettres, mots), de solliciter sa mémoire (lectures antérieures, références personnelles...) ou de réfléchir tout simplement à chacune des phrases lues (associer des idées entre elles, faire des déductions...). Percevoir, mémoriser, raisonner, apprendre, voilà autant d'activités qui renvoient à ce que l'on nomme la « pensée ». Étudier la pensée humaine c'est donc s'intéresser à tous ces mécanismes à la fois et essayer de dégager, s'il existe, un mécanisme humain universel. Nous pourrions, bien entendu, essayer de passer en revue chacun des nombreux courants qui ont façonné au fil des siècles la psychologie mais nous préférons nous concentrer sur le XX^e siècle et sur un point important du mécanisme humain : l'apprentissage. En effet, que serait la condition humaine sans l'apprentissage, à quoi ressemblerions nous si nous n'avions pas appris dès notre plus jeune âge à marcher, parler et nous comporter en société. L'apprentissage est donc bien plus qu'un simple mécanisme puisqu'il permet l'acquisition de connaissances et le développement de chaque être humain. Les psychologues s'accordent même à dire qu'il s'agit d'« *un changement de comportement d'un organisme, résultant d'une interaction avec le milieu et se traduisant par un accroissement de son répertoire* » [PAR98].

Nous nous proposons ainsi, dans cette première section, d'évoquer quelques-unes des manières dont a été abordé l'apprentissage depuis le début du XX^e siècle jusqu'à la fin des années 80. Nous nous attarderons, cependant, un peu plus longuement sur les travaux de Lev Vygotsky qui resteront à la base de notre proposition en univers multi-agents (partie 3). Nous terminerons, enfin, sur une courte synthèse qui servira de conclusion succincte.

2.1.2 Le behaviorisme

Pour la psychologie behavioriste (aussi appelée comportementalisme), fondée par John Broadus Watson aux États-Unis en 1913 [WAT13], il faut écarter tout recours explicatif à la vie intérieure, à la conscience, aux prédispositions, pour étudier scientifiquement le comportement des organismes vivants et leurs relations avec l'environnement. Elle tente donc d'établir des lois associant le stimulus à la réponse (réaction) et le conditionnement tient un rôle central dans ce processus. En cela, elle modifie les rapports entre la psychologie (qui s'intéresse aux réactions des stimuli naturels) et la sociologie (qui étudie les stimuli sociaux). Ce courant est si puissant que la psychologie a longtemps été assimilée à la science du comportement ou « *Behavioral Science* ».

L'apprentissage dans le monde animal offre un terrain de recherche privilégié pour ce courant dans la mesure où il se prête facilement à l'expérimentation. Des séries de travaux scientifiques mettent ainsi en évidence l'influence de l'environnement sur le comportement, comme ceux de Pavlov [PAV41] ou Skinner [SKI74].

Le conditionnement répondant

Encore appelé conditionnement pavlovien ou conditionnement classique, ce conditionnement est un procédé permettant d'obtenir une réponse automatique ou inconditionnelle, telle qu'une émotion ou un réflexe, à un signal (un stimulus). Les expériences d'Ivan Petrovitch Pavlov (1849-1936) sur le conditionnement des animaux mettent en avant cette réaction. Il établit, par exemple, que le retentissement d'une sonnerie provoque un mécanisme de salivation chez le chien [PAV41]. En effet, ce conditionnement est produit par la présentation répétée à un sujet, animal ou humain, de deux stimulus couplés :

- Le premier, appelé « **stimulus conditionnel** » (SC), est d'abord neutre, au sens où il ne provoque pas de réaction spécifique (dans le cas de l'expérimentation, il s'agit du son de la cloche)
- Le second, nommé « **stimulus inconditionnel** » (SI), entraîne régulièrement une réaction caractéristique, dite « **réaction inconditionnelle** » (RI). Dans l'expérience avec le chien, le SI correspond à la nourriture et la RI à la salivation.

À la suite d'un nombre variable de cette présentation, le stimulus conditionnel provoque la même réaction, dite « **réaction conditionnelle** » (RC équivalente à la salivation du chien) que le stimulus inconditionnel. Le conditionnement opérant ne peut s'installer que si le sujet accomplit une tâche particulière, dite « réponse instrumentale », à la suite de laquelle on lui présente un « stimulus consécutif », agréable ou désagréable. L'association répétée de la réponse instrumentale et du stimulus consécutif accroît la probabilité de la réponse si le stimulus consécutif est agréable (il est appelé « renforçateur » de la réponse) et diminue la probabilité s'il est désagréable (il est appelé « punisseur »). Lorsque l'on insiste sur la valeur d'information du stimulus consécutif, il joue le rôle de rétroaction. C'est ainsi que s'effectue le conditionnement, la forme la plus élémentaire de l'apprentissage. C'est peut-être, d'ailleurs, le même mécanisme d'association entre deux stimuli qui produit les traces mentales les plus courantes dans le cerveau comme celles qui nous font associer l'image du feu à la sensation de chaleur et nous préviennent subséquentement du danger avant même de s'être approché d'une flamme.

Le conditionnement opérant

Il désigne l'apprentissage par lequel les récompenses ou les punitions façonnent le comportement d'un animal. Depuis les années trente, les expériences de Burrhus Frederic Skinner (1904-1990) servent de référence dans ce domaine [SKI74], [SKI91]. Il élabore sa théorie sur le contrôle du comportement et rajoute au processus de Pavlov, l'idée de renforcement pour que le processus stimulus-réponse se vérifie. Il déduit de ses nouvelles expérimentations sur des rats et des pigeons, que tout comportement, qu'il soit adapté ou inadapté (l'animal procède par tâtonnements pour atteindre la nourriture), s'acquiert suivant le mécanisme du conditionnement (renforcement : nourriture).

Ce type d'apprentissage est moins déterministe que le conditionnement de Pavlov car le sujet construit la réponse en apprenant la signification des stimulations. Toutefois, il repose sur une démarche active du sujet.

Conclusion

L'ensemble de ces recherches a montré que le rôle de l'apprentissage est très important dans le développement des comportements adaptatifs puisque, sur le plan humain, il intervient massivement dans la perception et l'apprentissage du langage par exemple. La

transposition des résultats acquis par l'observation des animaux sur le plan humain, l'analyse de tout comportement en termes de stimulus-réponse font la force du behaviorisme comme psychologie scientifique, mais elles trahissent également ses points faibles : peut-on, en effet, expliquer tout apprentissage par le conditionnement ? Ne s'agit-il pas d'une vision réductrice de l'apprentissage ?

Sans retourner à une psychologie de l'intériorité, nous devons cependant faire référence à une conception plus opératoire de ces processus, et ne pas oublier leurs dimensions affectives et sociales. C'est dans cette optique que divers courants se sont développés afin de se concentrer sur l'évolution humaine et l'apprentissage individuel dans un contexte d'interactions sociales ainsi que sur l'apprentissage au sein du groupe.

2.1.3 Le constructivisme et l'apprentissage social

Le constructivisme

Ce courant s'intéresse principalement aux rapports qui existent entre le développement humain et l'apprentissage. Jean Piaget (1896-1980), psychologue et pédagogue, élabore dès 1925 ce type de théorie qui transpose les modèles du développement biologique à la construction de la connaissance. Ses travaux sur les comportements des enfants [PIA23], [PIA37] ont permis de mettre en évidence chaque étape du développement intellectuel et moteur des garçons et des filles de leur naissance à leur adolescence. En effet, selon lui, la construction de la connaissance se fait par paliers. A chaque palier, selon l'état de maturation (biologique) de l'apprenant, celui-ci peut acquérir certaines connaissances. Il distingue ainsi cinq étapes successives, chacune étant nécessaire à la suivante :

- Au niveau **sensori-moteur** (de 0 à 18 mois), l'enfant est conduit à une structuration de l'univers restreinte à un niveau pratique. L'intelligence sensori-motrice organise le réel en construisant les grandes catégories de l'action qui sont les concepts de l'espace, du temps et de la causalité (apprentissage des premiers pas et des premiers mots, reconnaissance des formes et des bruits...).
- Au cours des 18-24 premiers mois s'effectue une sorte de « **révolution** » dans l'esprit de l'enfant. Plus exactement, un décentrage général par rapport à lui-même qui conduit l'enfant à se situer comme un objet parmi les autres.
- De 2 à 7 ans, l'enfant passe au stade **prélogique ou symbolique** au cours duquel il commence à élaborer des représentations mentales (ex : il peut jouer au cuisinier avec de l'herbe comme aliment).
- Au stade **opérationnel concret** (de 7 à 12 ans), l'enfant améliore son raisonnement et apprend beaucoup par le jeu et l'introduction de règles qui se transmettent socialement d'enfant à enfant.
- Enfin, au stade **opérationnel formel** (de 12 à 15 ans), l'enfant parvient à se dégager du concret et à situer le réel dans un ensemble de transformations possibles. Le développement intellectuel se poursuit par une transformation de la pensée qui devient plus abstraite.

A chaque palier, de nouveaux éléments sont assimilés et intégrés aux connaissances précédentes qui, elles-mêmes, sont conservées et peuvent être réutilisées (principe de la réversibilité).

Selon la théorie piagétienne, le développement cognitif du sujet est indissociable de l'action. Le modèle de Piaget est interactif, constructiviste et systémique (puisqu'il pense

les choses en système). Le seul inconvénient de cette théorie est qu'elle ne prend pas en compte l'apprentissage au niveau collectif et l'importance des autres dans ce processus.

L'apprentissage social

Le psychologue Albert Bandura est à l'origine de ce concept qui cherche à rendre compte du rôle des influences sociales dans l'apprentissage. Pour lui « *l'apprentissage serait excessivement laborieux et risqué si les individus devaient se baser uniquement sur les effets de leurs actions de façon à être informés sur ce qu'il faut faire. Heureusement, la plupart des comportements humains sont appris par observation au moyen du modelage. A partir de l'observation d'autrui, nous nous faisons une idée sur la façon dont les nouveaux comportements sont produits. Plus tard, cette information sert de guide pour l'action. Les individus sont capables d'apprendre ce qu'il faut faire à partir d'exemples vus, au moins de façon approximative avant de produire le comportement. Cela permet d'éviter beaucoup d'épreuves inutiles* » [BAN80].

Le terme d'apprentissage social désigne trois procédures d'acquisition qui ont leur source dans l'entourage de l'individu :

- L'apprentissage **vicariant ou imitatif** résulte de l'observation d'un modèle qui exécute le comportement à acquérir. Ces informations sont ensuite codées et mémorisées, constituant un modèle interne qui guidera la performance de l'observateur.
- La **facilitation sociale** désigne l'amélioration de la performance de l'individu sous l'effet de la présence d'un ou plusieurs observateurs.
- L'**anticipation cognitive** qui est l'intégration d'une réponse par raisonnement à partir de situations similaires.

De plus, la notion d'interactions est particulièrement importante dans cette théorie. Il précise, en effet, qu'il ne suffit pas de considérer le comportement comme étant fonction des effets réciproques de facteurs personnels et environnementaux les uns sur les autres, mais que l'interaction doit être comprise comme un déterminisme réciproque de facteurs personnels, environnementaux et des comportements [BAN86]. Ainsi, dans cette conception, l'influence de l'environnement sur les comportements reste essentielle, mais à l'inverse de ce qu'on trouve dans les théories behavioristes de l'apprentissage (conditionnement classique et conditionnement opérant), une place importante est faite aux facteurs cognitifs, ceux-ci pouvant influencer à la fois sur le comportement et sur la perception de l'environnement. Cette perception est en effet plus déterminante que les conditions réelles dans lesquelles se trouve l'individu. Pour Bandura, les humains ne répondent pas seulement à des stimuli, ils les interprètent [BAN80]. Il cite plusieurs exemples montrant que l'effet de la situation sur le comportement (renforcement) ne devient vraiment significatif que lorsque le sujet prend conscience de ce renforcement.

Au cours de ses travaux, ce psychologue s'est particulièrement intéressé à l'agression et aux comportements agressifs qui, selon lui, sont appris par imitation de modèles tels que les parents. Il a, par exemple, montré l'influence des films violents sur les comportements des enfants et en particulier chez les garçons âgés de 8-9 ans. Tous ses travaux inspirent aujourd'hui de nombreuses recherches et applications dans des secteurs aussi variés que la psychologie pathologique, l'éducation, la santé, le travail et même le sport.

Conclusion

Les recherches sur l'apprentissage social ont révélé, à leur tour, l'importance d'une présence extérieure comme stimulant dans l'acte d'apprendre. L'enfant qui apprend à lire ou à marcher, l'apprenti qui s'initie à un métier, l'étudiant qui découvre l'intérêt du code pénal en droit... ne le fait pas seul. C'est souvent en contact avec un autre que l'apprentissage peut s'effectuer et prendre alors tout son sens. Ainsi, ce type d'apprentissage peut prendre des formes très différentes : de la socialisation inconsciente, où l'enfant acquière sans s'en rendre compte des façons de s'exprimer, des codes de conduite, des valeurs, jusqu'à l'identification consciente du sujet à un modèle, un « idéal » sur lequel l'individu va entièrement copier la façon de se comporter.

2.1.4 Le courant socio-culturel

Mis en avant par le psychologue russe Lev Semionovitch Vygotsky (1896-1934), ce courant marque son opposition par rapport aux théories piagésiennes puisqu'il reproche à Piaget son épistémologie individualiste. Selon ces critiques, la thèse de Piaget est ambiguë sur le rôle de l'autre et du social dans l'ontogenèse (l'ontogenèse représentant le développement physiologique d'un individu depuis sa fécondation jusqu'à son état adulte [LAR00]). Le socio-constructivisme introduit donc le paramètre déterminant de la médiation de l'autre, négligé par Piaget (l'influence du monde extérieur sur le développement de l'enfant...). Nous allons voir maintenant cette théorie (et plus particulièrement celle de Vygotsky) de manière plus détaillée.

Principes de base

Psychologue soviétique de formation pluridisciplinaire, Lev Vygotsky concentre l'ensemble de ses travaux à l'étude de la psychologie de l'enfant et ses applications pédagogiques. Marqué par son engagement très fortement marxiste, ses observations et ses recherches menées sur le terrain et en laboratoire visent à rendre compte de la dialectique du psychisme et du culturel dans la genèse de la personne et dans l'activité humaine. Il met entre autre, au point une théorie interactionniste de l'apprentissage qui insiste surtout sur la composante sociale : « *Dans notre conception, la vraie direction de la pensée ne va pas de l'individuel au social mais du social à l'individuel* » [IVI94]. Son travail de recherche porte sur les relations entre la pensée et le langage et plus particulièrement sur le processus de construction de l'enfant. Selon lui, la pensée et la conscience sont déterminées par les activités réalisées avec des individus dans un environnement social déterminé. Il considère, par exemple, que l'enfant se construit grâce aux relations avec les adultes et plus particulièrement lors des moments d'échange de communication [VYG62]. Ainsi, il met en évidence que le langage est un instrument privilégié de socialisation et de médiation des relations humaines dans le processus d'apprentissage de l'enfant et que son rôle n'est pas seulement de transférer des connaissances mais également de réguler des processus mentaux. Le processus d'apprentissage est alors enraciné dans la sociabilité humaine avec tous les éléments sociaux (tels que les dialogues, les échanges d'informations...) et l'affectivité qui la caractérisent. La part confiée aux interactions est donc évidente. Cette position a son prolongement dans le développement du concept de « *Zone Proximale de Développement* » qui permet de définir une nouvelle articulation entre le développement et l'apprentissage [DOO97].

Les notions de « Zone Proximale de Développement » et d'« Echafaudage »

La Zone Proximale de Développement. Cherchant à comprendre comment l'aide d'autrui doit être conduite pour être profitable à l'enfant, Vygostky développe un principe clé qu'il intitule « *Zone Proximale de Développement (ZPD)* ». Pour se faire, il distingue deux situations : celle où l'apprenant peut apprendre et accomplir seul certaines activités et celle où il peut apprendre et réaliser une activité avec l'appui d'un autre (il s'agit de sa capacité potentielle de développement). Entre les deux, se situe la ZPD qui représente ce que l'apprenant n'est capable de faire qu'en étant guidé par une personne plus compétente tout en ayant les connaissances et les habiletés de base sur lesquelles il doit s'appuyer. Ainsi, pour Vygotsky, la ZPD est « *la distance entre le niveau de développement actuel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout des problèmes seul et le niveau de développement potentiel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout des problèmes lorsqu'il est assisté par l'adulte ou collabore avec d'autres enfants plus avancés* » [VYG62]. Elle repose donc sur deux dimensions du développement : une dimension interpsychique et une dimension intrapsychique. En effet, « *chaque fonction psychique supérieur apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord comme fonction interpsychique, puis la deuxième fois comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique* » [VYG62]. Cette façon de concevoir l'apprentissage suppose qu'il est préférable de susciter le travail d'équipe, de façon coopérative, puisque les participants sont placés en situation d'expliquer leurs démarches mentales lesquelles sont susceptibles de permettre à l'apprenant d'ajuster ses conceptions et de structurer de nouvelles connaissances.

L'échafaudage. Vygotsky dépasse la théorie de construction des savoirs de Piaget en parlant d'autostructuration assistée. Il appuie sa théorie en associant à la ZPD la notion d'échafaudage (traduit du terme anglais « *scaffolding* »). Cette conception réfère à des stratégies, des techniques et des procédures utilisées par la personne qui échafaude un apprentissage pour un apprenant ou un groupe d'apprenants [VYG62]. L'échafaudage est plus qu'une succession d'étapes conduisant à une connaissance ou à une habileté à acquérir, il est un jeu de relations entre plusieurs participants collaborant à l'actualisation des ressources intérieures. Il peut être aussi bien vertical (l'enseignant ou l'expert soutient l'élève) qu'horizontal (l'aide d'un pair plus expérimenté). Cette notion est directement dérivée de la ZPD mais fait référence à l'aide apportée. Dans les tâches que les élèves ont à réaliser, l'enseignant doit fournir un soutien gradué, en fonction des compétences de chacun. Ce soutien est progressivement réduit jusqu'à ce que les élèves soient en mesure de réaliser la tâche de façon autonome. Cet échafaudage doit veiller à ce que la tâche, ou les sous-tâches, restent constamment dans la zone de développement proximal de l'élève. Il repose sur la conviction que ce qu'un élève peut réaliser avec de l'aide, il pourra, à terme, le réaliser seul mais cette aide doit lui être fournie tant qu'il n'est pas en mesure d'exercer ses compétences lui-même. Cette optique de "socio-construction" encourage donc, de manière générale, le travail en groupe et les interactions avec les autres qui passent inévitablement par un outil de socialisation : le langage.

Une place particulière accordée au langage

Pour Vygotsky, le langage est bien plus qu'un outil de socialisation puisque son rôle est essentiel dans le développement des connaissances. Il écrit d'ailleurs que « *la contribution de l'apprentissage tient au fait qu'il met à la disposition de l'individu un outil puissant :*

le langage » [VYG78]. Dans ce domaine, le travail de recherche de Vygotsky porte sur la relation entre la pensée et le langage en cours d'ontogenèse. Il démontre que l'hérédité n'est pas une condition suffisante d'acquisition du langage pour l'enfant mais qu'il faut aussi une contribution de l'environnement social sous la forme d'un type d'apprentissage tout à fait spécifique. Selon lui, cette forme d'apprentissage n'est autre que le processus de construction développé en commun au cours d'activités partagées par l'enfant et l'adulte, c'est à dire dans une interaction sociale. Au cours de cette collaboration, l'adulte introduit le langage qui, appuyé sur la communication préverbale, apparaît au commencement comme un outil de communication et d'interaction sociale. Le langage apparaît ainsi comme le médiateur par excellence du passage de l'intériorisation à l'extériorisation de l'enfant.

Dans la résolution de problèmes complexes, on fait appel à deux formes de langage : le langage égocentrique et le langage social ou interpersonnel. L'enfant régule ses actions en se parlant, c'est le langage égocentrique ou intrapersonnel utilisé pour trouver des solutions. Il peut aussi demander de l'aide à une tierce personne, il utilise alors le langage social. En fait, le langage égocentrique est l'intériorisation du langage social, au fur et à mesure que l'enfant fait appel à ses propres ressources intellectuelles. L'enfant a besoin de l'adulte pour développer ces deux formes de langage. Dans les premiers stades de développement, le langage accompagne l'action mais plus tard il précédera l'action en devenant un outil de représentation ou d'évocation intérieure et de planification. Éventuellement le langage devient un outil de prédiction, d'induction et de déduction. Ainsi, l'utilisation du langage (social et intérieur) facilite le développement cognitif de l'enfant.

2.1.5 La psychologie cognitive

Notre rapide tour d'horizon des courants psychologiques ne serait complet sans aborder, de manière succincte, la psychologie cognitive. En effet, cette psychologie, développée à la fin des années 50 aux États-Unis par George Miller et Jerome Bruner, envisage les faits psychiques comme des dispositifs de « traitement de l'information » qui élaborent des stratégies mentales et résolvent des problèmes. Cette approche est née en réaction au behaviorisme et se distingue de celui-ci sur deux plans :

- Sur le plan des **méthodes**. Alors que le behaviorisme se contente d'observer les comportements extérieurs du sujet, le cognitivisme veut, au contraire, comprendre les états mentaux (représentations, images, concepts) du sujet et leurs associations.
- Sur le plan **théorique**. Le behaviorisme considère que la pensée fonctionne comme un mécanisme automatique qui enregistre passivement les données venues du milieu extérieur et y répond par la combinaison d'actions réflexes. La vision cognitiviste suppose, au contraire, la sélection et l'interprétation des informations reçues; l'action ou la pensée implique la mise en oeuvre de stratégies de résolution de problèmes adaptées à chaque situation.

La pensée se présente donc, selon les cognitivistes, comme une composition complexe d'états mentaux, réductibles à des états élémentaires qui s'articulent entre eux et se combinent selon des procédures logiques. De cet enchevêtrement d'images et de concepts et de leur emboîtement naissent toutes nos idées, de la réflexion la plus abstraite à la rêverie la plus futile [BGA56]. Penser, créer, croire, c'est donc, selon la psychologie cognitive, manipuler des états mentaux.

2.1.6 Conclusion

Que faut-il finalement retenir de tous ces courants psychologiques au niveau de l'apprentissage? Tout d'abord qu'il existe une grande diversité de mécanismes d'apprentissage : du conditionnement classique de Pavlov au conditionnement opérant de Skinner; de l'apprentissage par imitation à l'apprentissage par stratégies. Les formes complexes d'éducation (apprendre à parler, à écrire, à marcher...) exigent sans aucun doute le recours à la combinaison de tous ces aspects. Ce constat a ainsi d'importantes implications psychologiques : un être humain ne peut apprendre à lire, par exemple, simplement en ingurgitant des mots et des lettres. Non, son apprentissage nécessite avant tout sa participation active par la formation d'hypothèses sur le sens des mots, qui seront confirmées ou non.

Il est intéressant de noter au passage que la théorie de l'apprentissage s'appuie sur des expériences spécifiques et sur un type d'apprentissage qui lui est propre, comme nous avons pu le voir précédemment. C'est en nous fondant sur cette observation, que nous avons décidé, pour la suite de nos travaux, de nous baser, principalement, sur le courant socio-culturel lors de la mise en place d'un mécanisme d'apprentissage dans notre modèle. En effet, nous considérons, comme Vygotsky, que le langage et la communication vont de pair avec la socialisation d'un individu et sont étroitement liés à son évolution et à sa capacité à s'adapter plus ou moins facilement à un nouvel environnement. De plus, les interactions entre les différents individus au moment du processus d'apprentissage, jouant un rôle primordial dans la théorie de Vygotsky, ils seront, par conséquent, également indispensables pour nous. Ainsi, nous associerons nécessairement la notion d'apprentissage à trois termes : les interactions, la communication et le langage.

La langage, il s'agit justement d'un thème que nous nous devons d'aborder dans ce chapitre sur les sciences cognitives puisqu'il reflète, par excellence, un champs complexe dont les énigmes sont encore loin d'être élucidées.

2.2 La linguistique : une science du langage

2.2.1 Introduction

A quoi sert le langage? Servirait-il à autre chose qu'à communiquer? Quelle question stupide finalement puisqu'à quoi pourrait bien servir le langage si ce n'était à communiquer? Pourtant Noam Chomsky affirmait qu'« *il est faux de penser que l'usage du langage humain se caractérise par la volonté ou le fait d'apporter de l'information* » [CHO70]. Pour certains, le langage est avant tout un support pour la pensée et non un instrument de communication. Son rôle n'est ni plus ni moins que de permettre à la pensée de se constituer, de se mettre en forme. Selon cette hypothèse, le langage se conforme avant tout aux règles de la logique et à celles des idées plutôt qu'aux règles de la bonne communication. Langage et pensée sont alors en quelque sorte consubstantiels et la communication n'est qu'un dérivé de cet outil [LAP97]. Cette hypothèse sous-entend cependant que les personnes qui n'ont pas accès au langage (sourds-muets, aphasiques...) ou les animaux n'ont pas accès à la pensée ce qui est loin d'être une vérité... Pour d'autre, au contraire, le langage est avant tout un instrument de communication et non un outil pour la pensée. Son rôle est d'abord d'informer, d'influencer, de permettre une communication complexe. Que l'on adopte l'un ou l'autre de ces avis, les recherches des linguistes s'organisent toutes autour de trois grandes questions concernant le langage : Quel est sa nature? Comment évolue-t-il? Et comment fonctionne la communication? C'est en nous basant principale-

ment sur cette troisième question, que nous allons organiser cette deuxième section. En effet, nous nous intéresserons, dans un premier temps, au fonctionnement de la langue et à sa logique interne et verrons les différents travaux qui ont contribué à cela. Puis, dans un second temps, nous décrirons une deuxième voie par laquelle la linguistique est impliquée dans les programmes de recherche en sciences cognitives et qui concerne les problèmes de traitement informatique des données langagières; nous verrons même, plus particulièrement, deux outils qui utilisent directement des méthodes de traitement automatique du langage. Nous terminerons par une conclusion succincte qui présentera notre point de vue sur le sujet et les orientations que nous avons décidées de prendre pour la suite de ce travail.

2.2.2 Le langage et son fonctionnement

Si les linguistes du *XIX^e* siècle se sont voués à l'étude de l'évolution des langues d'un point de vue factuel, les linguistes du *XX^e* siècle se sont plutôt consacrés à un tout autre projet : découvrir le fonctionnement de la langue et son armature. La recherche d'une structure de la langue a débuté avec Ferdinand de Saussure (1857-1913), le fondateur de la linguistique moderne, et elle s'est poursuivie avec le fonctionnalisme et les grands programmes de grammaire générative. Cependant, la linguistique des années 80-90 voit de nouvelles approches s'imposer comme la pragmatique où l'on s'intéresse, plus spécifiquement, à la parole et à ses effets dans la communication.

F. de Saussure : la langue, un système organisé avec une cohérence propre

Avec Ferdinand de Saussure et son « *cours de linguistique générale* » [SAU95], un tournant majeur s'effectue dans l'orientation conceptuelle de la linguistique puisque qu'il souhaite définir la langue comme un système organisé ayant une cohérence propre. A la vision « diachronique » dominante jusqu'à présent, il impose une vision « synchronique », c'est à dire fondée sur les règles de fonctionnement à un moment donné. Son approche conçoit ainsi la langue comme un système d'éléments interdépendants, où un mot n'est plus isolable d'un autre et un signe n'a de valeur que lorsqu'il est placé dans un ensemble de relations. Analyser une langue revient ni plus ni moins qu'à comprendre les règles de fonctionnement d'un système.

Une fois son programme de recherche fixé, F. de Saussure s'attache à dégager des éléments fondamentaux qui composent une langue. Il met notamment en évidence deux grandes distinctions :

- **La distinction langue/parole.** Alors que la parole est infiniment variable et diversifiée, la langue dépasse les productions individuelles et forme un système cohérent.
- **La distinction signifiant/signifié.** Le signifiant correspond à « l'image acoustique », c'est à dire au son produit pour énoncer un mot. Le signifié désigne, au contraire, le concept, l'idée le contenu sémantique attribué au signe.

Les fonctionnalistes : étudier la langue sous l'angle des fonctions

Dans la lignée de Saussure, plusieurs courants émergent au cours des années 30 en Europe. Des auteurs comme Roman Jakobson (1896-1982) ou Nikolai S. Troubetzkoï (1890-1938), regroupés sous le nom de « fonctionnalistes », envisagent l'étude de la langue sous l'angle des fonctions qui assurent les sons ou les éléments grammaticaux dans la communication. Leur tâche s'apparente finalement à celle d'un mécanicien qui démonte une machine pour

découvrir à quoi sert chacune des pièces qui la composent et comment elles s'agencent entre elles. Les pièces les plus simples de la langue sont les lettres pour la langue écrite et les sons pour la langue orale. L'étude des sons de la langue est l'objet propre de la phonologie, science issue du Cercle de Prague (fondé en 1928-1929).

La phonologie s'est donc préoccupée de rechercher et de classer les unités sonores les plus simples d'une langue : les « *phonèmes* ». Certains phonèmes ont même une importance particulière puisqu'ils définissent des unités de sens. Par exemple, « I think » prononcé par un français peut facilement se confondre avec « I sink » puisque le son « th » n'existe pas dans sa langue. On comprend alors comment procède la phonologie : d'abord décomposer une langue en ses unités élémentaires puis rechercher comment ces éléments se composent entre eux pour exprimer une signification particulière. Pour les fonctionnalistes, un phonème n'a pas de sens en lui-même, il dépend des relations avec les autres phonèmes.

Après avoir fondé la phonologie, les principaux créateurs de la discipline s'attachent à décrire les diverses fonctions du langage. C'est dans ce but que Roman Jakobson propose sa célèbre distinction des fonctions du langage [JAK63]. Les linguistes fonctionnalistes dominent donc les années 20 à 50. Ils conçoivent, comme nous l'avons vu jusqu'à présent, la langue comme une sorte de machine avec ses pièces, ses fonctions, son armature...

Dans les années suivantes, les recherches se déploient dans une perspective voisine puisqu'il s'agit de découvrir une sorte de « *programme universel* », à l'image d'un logiciel d'ordinateur ou d'un programme génétique de la cellule, qui permettrait de produire la diversité des paroles à partir de quelques règles simples. Tel est le projet des « *grammaires génératives* » dont le linguiste américain Noam Chomsky est la figure marquante.

Noam Chomsky et la grammaire générative

Cette grammaire se présente comme la recherche d'un système formel du langage, d'une grammaire universelle d'où dérivent toutes les langues et leurs énoncés possibles [PP82]. Le grand projet (et ambitieux) de Chomsky est de découvrir des structures syntaxiques profondes (plus profondes que les règles de grammaires propres à chaque langue particulière) qui gouvernent la production de tous les discours particuliers dans toutes les langues du monde [CHO57]. En proposant, en 1957, le *traitement formel des langues*, N. Chomsky se retrouve en rupture avec le behaviorisme dominant aux États Unis (selon lequel le langage dérive de l'apprentissage, par association et combinaison de mots) puisque pour lui, la production du langage suppose une « *compétence* » (capacité mentale innée) qui préside à l'élaboration des multiples discours : la « *performance* ». Sa méthode consiste à rechercher, derrière la structure grammaticale de surface d'une phrase, une structure profonde.

Prenons un exemple : soit la phrase : « *Stéphanie mange une pomme* ». Elle peut-être formalisée de la manière suivante :

- Stéphanie = Suj. (sujet)
- mange = SV (syntagme verbal)
- une pomme = SN (syntagme nominal).

Par simple permutation d'un terme, on peut construire une autre phrase comme « *Naomi mange du chocolat* ». La formule générale P (phrase) = Suj. + SV + SN est une formule abstraite à partir de laquelle on peut générer une infinité de phrases. Tel est le principe de la grammaire générative.

N. Chomsky a reformulé plusieurs fois sa modélisation de structures grammaticales [CHO65], [CHO82] afin de répondre à certaines impasses. En effet, la logique formelle de la gram-

maire fait l'impasse sur le contenu même de la proposition et peut ainsi aboutir à créer des phrases grammaticalement correctes mais complètement vides de sens. Par exemple, la permutation de la phrase précédente par « *Une pomme mange Stéphanie* » est formellement correcte mais n'a aucun sens ! Malgré plusieurs remaniements, le projet de Chomsky n'a pas encore abouti à la construction d'un modèle abstrait totalement efficient.

John L. Austin et les actes de langage

Comme nous l'avons vu avec Chomsky, le fonctionnement de la langue peut-être difficilement isolé de son contexte d'utilisation et de son insertion dans les interactions humaines. Toute l'orientation des recherches au cours des trois dernières décennies a consisté justement à réintégrer le langage dans le processus général de la communication. La pragmatique, par exemple, dont le précurseur est John L. Austin (1911-1960), est une discipline qui envisage le langage en tant qu'outil pour agir sur le monde et non pas seulement comme un outil pour exprimer des pensées ou transmettre des idées.

Austin parle ainsi « *d'actes de langage* » pour désigner les énoncés en tant qu'ils permettent d'agir sur soi, sur les autres et sur les événements [AUS60]. Alors que l'énonciation « *Il fait beau* » n'a que fonction d'expression et d'information, la phrase « *Ferme la porte* » a pour but de provoquer un comportement chez autrui. Parfois, cette volonté d'agir sur autrui s'effectue sous une forme cachée derrière un simple constat. Ainsi, la phrase « *Il fait froid* » qui, dans un sens premier, n'est qu'un constat neutre (Austin parle « *d'énonciation constative* »), contient en fait, dans un certain contexte un autre message. Si la phrase est prononcée par un enfant à sa mère au cours d'une promenade, elle signifie implicitement « *Revenons vite car je ne me suis pas assez habillé* ». L'énoncé prend donc un effet « *performatif* » (de l'anglais, *to perform*).

Austin distingue au sein de l'acte locutoire (c'est à dire la production d'une parole avec un son, des mots et une structure grammaticale donnée) **les actes illocutoire et perlocutoire**. L'effet illocutoire manifeste l'intention de celui qui produit le message. Dans notre exemple précédent, l'acte locutoire « *il fait froid* » possède la valeur illocutoire « *Revenons vite car je ne me suis pas assez habillé* ». L'effet perlocutoire, par contre, désigne l'effet produit par le message (émotion, sentiment, décision).

En insistant sur l'effet de la parole sur le monde, la pragmatique réintroduit la communication au sein de la linguistique. Mais, ce faisant, peut-être tend-elle à dissoudre aussi son objet. Pour certains, la pragmatique doit se fondre dans la psychologie sociale, qui est la science de la communication et des interactions verbales qui ne se réduisent pas aux seuls supports langagiers [GT93].

Conclusion

Comme nous avons pu le constater à travers cette partie sur le langage et son fonctionnement, l'étude de la formation et de l'acquisition d'une langue est particulièrement difficile à cause de sa complexité intrinsèque (analyse grammaticale, syntaxique...). Que ce soit de Saussure ou Austin, tous se sont confrontés à des phases critiques de leurs propositions. Même les fondements neurologiques ou psycholinguistiques [LEW03] actuels, rendant ce processus plus matérialisable, font toutefois encore l'objet de vives controverses. Le débat s'est ainsi cristallisé il y a quelques années autour des positions innéistes adoptées par N. Chomsky, notamment à partir de l'argument de la « *pauvreté du stimulus* » [PP82]. Pourtant, depuis quelques années, des informaticiens interviennent aussi dans ce débat

et une nouvelle problématique de recherche émerge au niveau du Traitement Automatique du Langage Naturel (TALN). Nous allons donc, à présent, nous concentrer sur ce domaine qui connaît un essor particulier depuis ces dernières années, notamment avec le développement de l'extraction automatique d'informations à partir de textes pour la recherche sur le Web.

2.2.3 Le TALN : un nouveau défi pour les linguistes

Petit historique du traitement automatique du langage

La traduction automatique Le traitement automatique des langues est né en même temps que l'ordinateur. En effet, en 1945-1946 (période à laquelle apparaît l'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*)), Warren Weaver commence à penser à l'application des « *calculateurs électroniques* » à la traduction. L'approche est très fortement influencée par le contexte de la seconde guerre mondiale, où des efforts très importants sont fournis en cryptographie. Weaver, fort intéressé par ce domaine, compare explicitement le processus de traduction à un processus de chiffrement. Le choix de la traduction parmi d'autres tâches linguistiques imaginables pour les ordinateurs s'explique aussi par le contexte de l'époque, où la préoccupation principale est d'améliorer la communication entre les peuples pour éviter la reproduction de désastres planétaires comme celui de la seconde guerre mondiale.

Les recherches en traduction automatique prennent au début des années 50 un essor fulgurant, à grands renforts d'annonces dans les médias qui promettent la « machine à traduire ». En 1954, des chercheurs de l'université de Georgetown et d'IBM conduisent la première expérience de traduction automatique du russe en anglais, avec un vocabulaire de 250 mots et 6 règles de grammaire. Entre 1955 et 1960, la recherche s'intensifie et de nombreux groupes s'y consacrent à travers le monde. En France, une association est même créée (l'Association pour l'étude et le développement de la Traduction Automatique et de la Linguistique Appliquée (ATALA)) et une première revue est publiée (revue de la Traduction Automatique). Durant cette période, la plupart des problèmes sont dépistés et de multiples solutions sont proposées. Cependant, la technologie informatique très sommaire de l'époque est largement insuffisante, de même que les connaissances en linguistiques, et une prise de conscience s'effectue. En 1960, Bar-Hillel publie un rapport mettant en lumière les difficultés énormes que pose la traduction tant sur le plan technologique que linguistique. Une des principales critiques des recherches en traduction automatique vise leur sous estimation des connaissances textuelles et encyclopédiques qui seraient nécessaire pour traduire correctement. Par exemple, la traduction du mot « pen » prend différentes formes selon le contexte dans lequel il se situe. La décennie qui va suivre va donc être marquée par l'arrêt des financements et la disparition quasi totale des recherches dans ce domaine.

Ce n'est qu'en 1975, sous l'impulsion de la Communauté Européenne que les recherches en traduction automatique prennent un nouvel essor. Confrontée à l'explosion des besoins en traduction, la Communauté engage le développement du système SYSTRAN qui est toujours opérationnel et offre un service gratuit sur le web.

Parallèlement à cela, au cours des années 60, le traitement automatique des langues a été profondément marqué par un autre courant, celui de l'Intelligence Artificielle (IA).

IA et traitement informatique du langage Les chercheurs du M.I.T dirigés par Minsky s'attaquent à divers problèmes, mais le traitement du langage tient une place de

choix. En particulier, Ross Quillian développe les réseaux sémantiques, qui permettent de représenter des connaissances simples et de faire des inférences [MIN68]. De nombreux systèmes de dialogue ou de compréhension du langage fleurissent au cours des années 60, au M.I.T et dans de nombreux autres centres de recherche. Dans un premier temps, les efforts se portent sur la reconnaissance des mots (l'analyse lexicale) appliquée à la traduction automatique. La légende prétend qu'un programme de traduction anglais-russe et russe-anglais des années 60 aurait transformé la phrase « *la chair est faible mais l'esprit est fort* », après passage par le russe et retour à l'anglais, en « *la viande est pourrie mais la vodka est bonne* »...

A la même époque, des programmes basés sur le principe de la détection de mots clés apparaissent mais ne font pas illusion très longtemps (c'est le cas du programme ELIZA développé par Joseph Weizenbaum qui simule un dialogue avec un psychanalyste). En 1970, Terry Winograd développe le système nommé SHRDLU qui constitue une étape importante dans les systèmes de dialogue, dans la mesure où la machine « comprend » réellement les ordres qui lui sont donnés, dans le cadre d'un micro-monde extrêmement restreint et composé de blocs de diverses formes et diverses couleurs que la machine doit déplacer. Malgré l'enthousiasme initial suscité par les succès parfois incontestables de l'IA, des critiques commencent à s'élever à partir des années 70 et un nouveau tournant est alors pris dans le domaine du traitement automatique du langage.

La linguistique computationnelle Au cours des années 60, le traitement automatique des langues commence à s'ériger en discipline autonome, sous le nom de *linguistique computationnelle*, se démarquant ainsi de la traduction automatique. Des recherches spécifiques se développent dans diverses directions (morphologie, syntaxe, sémantique) et vers de multiples applications :

- Interrogation de bases de données,
- Dialogue homme-machine [SK01],
- Recherche documentaire [AF73],
- Analyse de récits [SAB90], [SAB97],
- Analyse de textes écrits [JOL91],
- Traduction automatique [WTM89],
- Traitement de la parole [WOL75], [CHA02a],
- ...

Les années 90 marquent un tournant important pour le traitement automatique des langues. Si les problèmes sont loin d'être résolus et si la recherche en linguistique computationnelle continue d'explorer tous les aspects du traitement des langues, de multiples applications ont franchi le pas des logiciels grand public :

- **Correction orthographique** : Tous les systèmes de traitement de texte comprennent des logiciels de correction orthographique intégrés (comme dans Word pour Windows) dont l'efficacité est généralement assez satisfaisante,
- **Synthèse de la parole** : Les systèmes de synthèse de la parole ont franchi un seuil de qualité et d'intelligibilité important, ce qui permet de les utiliser dans certaines applications (systèmes téléphoniques, aide aux handicapés...)
- **Reconnaissance de la parole** : La reconnaissance des mots isolés est devenue d'usage courant (composition d'un numéro de téléphone à partir d'un nom pro-

noncé) et la reconnaissance de la parole continue a faire des progrès considérables pour être à la portée du grand public.

D'autres applications grand public sont en train d'émerger, en particulier sous l'influence de l'explosion du Web, qui pose des problèmes d'accès à l'information et de multilinguisme :

- **Traduction automatique** : On trouve divers systèmes de traduction sur ordinateur (Babylon...) et même en libre accès sur le web (Systran...). Cependant, la qualité de ces logiciels est loin d'être excellente mais ils offrent des traductions grossières qui peuvent aider certains utilisateurs.
- **Recherche documentaire** : Divers moteurs de recherche (Google...) permettent de localiser les pages d'information sur un sujet donné sur le Web et commencent même à intégrer des capacités linguistiques minimales (détection de mots composés, thésaurus et réseaux sémantiques...)

Compte tenu de la rapide évolution de tout ce qui a trait au Web, il est fort à parier que tous ces systèmes vont bénéficier d'importantes évolutions au cours des années à venir. Il est à noter, néanmoins, que les travaux actuels sont sans doute plus modestes que leurs prédécesseurs puisque la complexité du problème est loin d'être négligée. Les modèles à l'étude ne se limitent plus à une phrase mais à un discours global et ils cherchent à comprendre les « intentions » derrière ce qui est dit, afin d'interpréter correctement toutes les subtilités d'une langue (métaphores, polysémie, anaphores, ellipse...). La tâche est donc difficile et beaucoup de travail reste à faire dans ce domaine.

Il serait intéressant de passer en revue les principes généraux du traitement automatique des langues ainsi qu'un certain nombre de notions de linguistique mise en oeuvre à cet effet mais cela ferait l'objet d'une thèse en elle-même. Or, étant plutôt utilisateurs d'outils de TAL que véritables chercheurs dans ce domaine, nous avons décidé de présenter, dans cette sous section, deux programmes qui se servent de techniques de TAL pour indexer des textes sur Internet ou pour être de véritables agents conversationnels sur un site Web. Nous resterons assez sommaires sur leurs descriptions afin d'avoir plutôt une vision globale de leurs fonctionnalités et leurs limites.

Présentation de deux outils utilisant le TAL

Apache Jakarta Lucene : Moteur d'indexation et de recherche sur le web Que ce soit sur Internet, avec les nombreux moteurs de recherche ou dans les entreprises, nous avons tous besoin de retrouver des documents ou sites de manière rapide. Une possibilité simple de recherche est de parcourir chaque fichier et de les analyser mais nous devinons aisément les problèmes sous-jacents : si pour chaque recherche nous devons parcourir la totalité des pages du Web, cela prend vite une éternité!

Pour permettre une recherche plus rapide, l'idée consiste à faire une analyse préalable de tous les documents puis de les stocker dans une base de données dans un format optimisé pour la recherche. C'est en gros le travail d'un moteur d'indexation : il crée des index de chaque document, pour faciliter leur recherche.

Lucene est une API Java (moteur de recherche full-text open source multi plate-forme) permettant à des développeurs de personnaliser et de déployer leur propre moteur d'indexation et de recherche. Doug Cutting, un des architectes du moteur Excite après être passé du Xerox PARC puis Apple, est à l'origine de ce projet. Lucene initialement hébergé par Sourceforge, a rejoint la famille Jakarta en septembre 2001 et se compose de la façon

suivante :

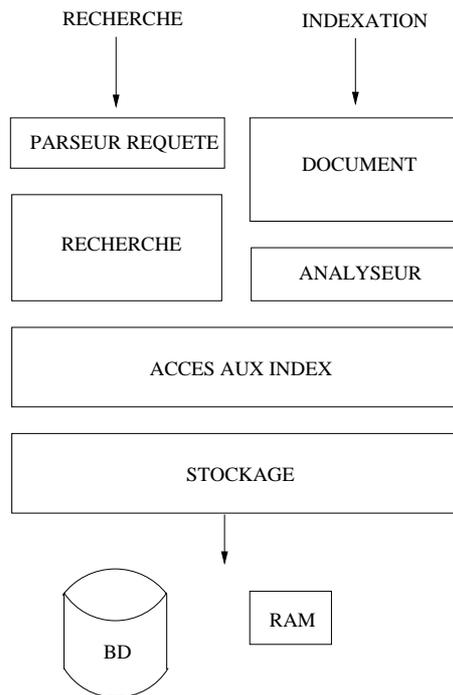


FIG. 2.1 – Architecture et organisation de Lucene

Lucene se découpe en 7 packages principaux que l'on retrouve dans l'architecture :

- org.apache.lucene.analysis : Contient le code pour convertir du texte en élément indexable. Il se sert, entre autre, des algorithmes de « Stop Words » ou « Porter Stemmer » pour améliorer ses capacités;
- org.apache.lucene.document : Classes relatives aux documents;
- org.apache.lucene.index : Codes pour maintenir et accéder aux index;
- org.apache.lucene.queries : Les classes de ce package, en particulier la classe QueryParser, ont pour objectif de parser les requêtes pour générer la requête sous forme d'objets Query. Ces derniers pourront ensuite être réutilisés par le « searcher » ;
- org.apache.lucene.search : Fournit les objets qui se chargent de chercher dans les indexes;
- org.apache.lucene.store : Couche d'abstraction d'entrée sortie. Lucene n'utilise pas directement le paquetage IO car il veut pouvoir accéder à des données sans se soucier de son support : base de données, RAM ou un fichier;
- org.apache.lucene.util : classes utilisées dans les autres packages : une implémentation de tableau, une implémentation de vecteur de bits, constante concernant l'OS utilisé...

Ce logiciel contient donc deux avantages indéniables: il est gratuit et en continuelle évolution. De plus, sa vitesse d'indexation (200 Mégas en une heure) et ses résultats avec indices de pertinence en font l'un des meilleurs moteur d'indexation utilisé par une multitude d'associations ou d'entreprises (voir sur le site Internet de Lucene les partenaires actuels). Le seul petit reproche à émettre concerne la qualité du code qui, par moment, l'empêche de réellement évoluer et d'être aussi compétitif qu'il le souhaiterait...

Semantia : Un agent conversationnel en ligne Semantia, société créée en juillet 2000 en région PACA (qui travaille en collaboration avec le Laboratoire Parole et Langage basé à l'Université d'Aix-en-Provence), propose à ses clients un véritable agent conversationnel en ligne qui répond aux questions des Internaute en temps réel.

L'architecture technique de cet agent est composée de 3 modules principaux :

- **La base de connaissances et de comportement** qui est propre à chaque agent conversationnel;
- **Le moteur de dialogue** (répond aux demandes en temps réel). Il s'agit d'un moteur de traitement du langage naturel qui attend les questions des Internaute et y répond en fonction de sa base de connaissances et de comportement. La demande est alors soumise au module de correction orthographique. Elle est ensuite traduite en un langage compréhensible par le système. Le moteur d'analyse morphologique répertorie les concepts contenus dans la demande. Les concepts répertoriés sont soumis au module de désambiguïsation du système. L'ensemble des concepts retenus est soumis au module de détection d'association de concepts. Le module de comportement du système replace enfin le ou les thèmes résultants des concepts retenus dans le contexte du dialogue, et déduit la réponse et/ou l'action appropriée;
- **L'appel sur le site Web**. Un simple lien HTML sur le site Web du client appelle le protocole PHP qui communique avec le moteur de dialogue et la base de connaissances et de comportements correspondante.

Semantia combine ainsi un certain nombre d'avantages : il corrige la plupart des fautes de frappe, traite les requêtes exprimées en langage naturel écrit (y compris celles comportant des abréviations ou approximations usuelles du langage courant), détecte et traite plusieurs thèmes dans la même requête, extrait, s'il y a lieu, les variables significatives contenues dans la requête, et interroge la ou les bases de données appropriées, replace les thèmes détectés dans le contexte d'un dialogue et en déduit les réponses ou les actions appropriées. Il est également très évolutif et repose sur des algorithmes puissants qui détectent même les fautes d'orthographe. Le seul inconvénient est que pour être parfaitement efficace, cet outil doit être placé dans un champ d'expertise toujours clairement défini en fonction du domaine d'activité de chacun et de la mission qu'il lui incombe (mais ceci reste finalement le seul véritable bémol de tous ces outils de traitement du langage!).

2.2.4 Conclusion

Nous avons donc vu, de manière assez concise, les principaux objectifs de la linguistique et les efforts qui ont été entrepris au cours des différentes années pour essayer de percer les secrets du langage humain. Que se soit par l'observation ou la modélisation, tous les efforts qui sont accomplis dans ce domaine sont, bien entendu, valables mais ne seraient-ils pas aussi un peu utopistes? Pourrait-on réellement communiquer avec un ordinateur « intelligent » qui comprendrait toutes nos subtilités langagières et nos états d'âmes? Quelles sont les véritables possibilités du traitement automatique du langage? Les ambitions dans ce domaine de recherche ont-elles des chances d'aboutir un jour?

Dans un article de 1980, le philosophe américain John Searle dénie toute forme de compréhension aux programmes informatiques chargés de traiter le langage. Son argument se fonde sur l'expérience de pensée de la « chambre chinoise » : imaginons donc, dit-il, que je sois enfermé dans une pièce disposant seulement d'un jeu complet de caractères chinois (langue dont je ne connais absolument rien) et d'un manuel rédigé dans ma langue maternelle. La pièce ne communique avec l'extérieur que par l'intermédiaire des caractères

chinois. Étant à l'intérieur, je reçois des séries ordonnées de caractères et, en suivant scrupuleusement les instructions détaillées de mon manuel, je réponds de la même façon. De l'extérieur de la pièce, on peut s'apercevoir qu'un dialogue chinois s'est établi. Pourtant, je ne comprends rien aux symboles que j'utilise; je ne fais qu'exécuter des instructions (qui représentent bien sûr le programme informatique). Pour Searl, la manipulation de symboles formels n'a rien à voir avec une réelle compréhension. De ce fait, les états mentaux ne se réduisent pas à des opérations abstraites : ils ont la propriété d'être « intentionnels » c'est à dire de faire référence à autre chose qu'à eux mêmes, d'être « à propos de » quelque chose d'autre. Cet argument très fort en cognitivisme classique est encore d'actualité mais une coopération entre disciplines s'impose plus que jamais pour arriver à des résultats probants en linguistique.

D'autre part, nous avons vu qu'un certain nombre d'outils existaient dans le domaine du traitement automatique des langues et que leur efficacité était plus ou moins à prouver selon le domaine dans lequel nous désirions les réutiliser. Luzzati [LUZ95] relève d'ailleurs dans son livre toutes ces difficultés et notamment celles de la compréhension du sens par le système. Malgré les progrès effectués dans ce domaine, les résultats ne sont pas toujours très fiables et les systèmes les plus performants sont malheureusement ceux qui analysent des conversations faites dans un contexte très précis et limité. Compte tenu de toutes ces observations, nous avons décidé, pour la suite de notre travail, de ne pas employer ces outils tel quels mais plutôt d'essayer d'en développer un plus simple et plus adapté à notre problématique (cf partie 3). Ceci nous permettra, entre autre, de détenir des informations pertinentes pour notre domaine d'application.

Si le langage est un outil de communication entre différents individus, il permet, néanmoins, non seulement de transmettre de l'information mais également de partager des connaissances lors de certains moments d'échanges privilégiés. D'ailleurs, certains courants psychologiques (comme le courant socio-culturel que nous avons décrit dans la section précédente) argumentent dans ce sens et considèrent les interactions entre différentes personnes comme de véritables processus d'apprentissage collectif. L'analyse de ces interactions fait du reste l'objet d'une science en soit, celle de la psychologie sociale. Nous allons dès à présent, détailler un peu plus cette discipline expérimentale dont les débuts remontent à la fin des années 1800.

2.3 La psychologie sociale : une science de l'interaction

2.3.1 Introduction

Les psychologues sociaux aiment à définir leur discipline comme celle des « interactions entre individu et société ». Normalement, cela pourrait couvrir un champ infini et peut-être trop imprécis. En réalité, c'est surtout l'emprise « invisible » de la société sur les individus qui a retenu l'attention des chercheurs (et assez peu l'inverse). Ainsi, la discipline s'est constituée essentiellement autour de quelques termes clés : les attitudes et les normes sociales, l'identité et les rôles sociaux, les mécanismes de l'influence et la formation des représentations sociales.

Il est possible de trouver les racines historiques de la discipline dans les oeuvres des français Gabriel Tarde et Gustave Le Bon, de l'allemand Wilhlem Wundt ou encore dans celle de l'américain George H. Mead vers la fin des années 1800. Mais la psychologie sociale

n'a conquis sa véritable autonomie disciplinaire qu'à partir des années 1930, notamment aux États Unis. C'est ici qu'elle acquiert son profil actuel : celui d'une science expérimentale consacrée à l'analyse des interactions entre les individus et les groupes auxquels ils appartiennent. Si l'on regarde même de manière plus approfondie les premiers travaux de cette époque, on s'aperçoit que la motivation première réside dans la compréhension de ce qui détermine les opinions et les attitudes de la population face à un problème social donné (le racisme, la délinquance, la peine de mort...). Comme nous pouvons le percevoir, l'histoire de la psychologie sociale est marquée par un certain nombre de grandes expériences princeps.

Dans cette partie, nous allons présenter succinctement quelques thèmes d'études qui ont eu une influence incontestée dans ce domaine et nous nous intéresserons plus particulièrement à des travaux, assez récents, d'un chercheur en éthologie des communications : Robert Pléty. Nous aborderons également la notion de confiance et verrons, comment, au sein de cette discipline, elle est définie et expliquée. Nous concluons, bien entendu, sur la position que nous avons décidé de conserver pour la suite de nos travaux.

2.3.2 Kurt Lewin et la dynamique des groupes

Kurt Lewin (1890-1947) va donner une impulsion décisive à la psychologie sociale au début des années 30 grâce à ses recherches sur la motivation, sur les styles de commandement et sur la dynamique des groupes. Il publie de nombreux articles et ouvrages sur ce sujet [LEW35], [LEW36], [LEW44] et fonde en 1944 le Research Center for Groups Dynamics au MIT. Cependant, la théorie des champs et la dynamique des groupes restent les deux recherches fondamentales de ce psychologue.

La théorie des champs : les forces d'attraction du sujet

Pour Kurt Lewin, les comportements individuels ne peuvent pas se concevoir indépendamment du contexte dans lequel ils se situent. Chaque individu est plongé dans un environnement vis à vis duquel il a des réactions polarisées : attraction, répulsion ou indifférence. La rencontre entre les motivations de chaque être humain et les sollicitations du milieu créent une sorte de « *champ de force* » qui peut être différent selon les individus et les lieux. Fortement influencé par les modèles physiques, Lewin a voulu formaliser ces « champs » à partir des lois de composition des forces, comme on peut le faire en mécanique ou électronique. Ceci a donné lieu à des modèles très formels destinés à rendre compte des conduites. Par exemple, un individu kleptomane désire se rendre dans un grand magasin. Il est alors soumis à deux forces contradictoires : d'une part, l'envie de rentrer pour voler, et d'autre part, la promesse qu'il s'est faite de ne plus prendre une chose sans l'acheter. Comme deux aimants qui s'attirent, plus le magasin est à sa portée et plus la tentation est forte.

La dynamique des groupes

Le modèle du comportement humain en termes de « champ de forces » peut-être appliqué à des groupes de personnes. On conçoit qu'il se crée entre elles des phénomènes d'attraction et de répulsion, des conflits de forces et des relations neutres. En bref, il existe une véritable « dynamique de groupes » que les chercheurs peuvent tenter d'explorer par l'observation ou par l'expérimentation. Une expérience célèbre, réalisée à la fin des années 30 par Lewin, Ronald Lippitt et Robert White porte sur les styles de leadership au

sein d'un groupe [LW78]. L'expérience consiste à former trois groupes de garçons âgés de dix/onze ans. Les groupes sont dirigés respectivement par un leader de style autoritaire (il est directif, n'écoute pas les suggestions du groupe et prend seul les décisions), un leader de style démocratique (il écoute le groupe, propose plus qu'il ne commande, suscite l'adhésion) et un leader de style « laisser-faire » (il intervient très peu, se contentant au besoin de donner des conseils). Contrairement à toutes attentes, les résultats de cette expérience montre que le style autoritaire semble aussi efficace que le style démocratique pour accomplir une tâche confiée à un groupe.

Les expériences de Lewin sont donc enrichissantes et ouvrent la voie à de nouveaux travaux, quelques années après, sur les mécanismes d'influence et de pression exercés sur un individu. Parallèlement à cela, certains psychologues se sont également intéressés aux profils et aux rôles que jouent des personnes lorsqu'elles sont en communauté. Comment, dans une réunion, par exemple, les individus se positionnent-ils par rapport aux autres? Quelles attitudes adoptent-ils et pourquoi? Les travaux de Robert Pléty tentent d'apporter des réponses à ces questions puisque pour lui « *au sein d'une organisation chacun des partenaires sait trouver, suivant ses capacités et ses connaissances personnelles, sa propre place* » [PLE96]. Présentons maintenant les travaux de ce psychologue sur ce sujet et voyons une modélisation proposée pour son approche.

2.3.3 Détermination d'interactions et de profils de comportements sociaux

Robert Pléty et son analyse sur le travail en groupe

Robert Pléty a fondé la plupart de ses travaux sur l'étude des comportements d'individus travaillant en groupe. En effet, ses expérimentations portent principalement sur l'observation de comportements d'élèves travaillant en groupe dans une classe et notamment sur les interactions entre élèves devant résoudre des problèmes d'algèbre [PLE96]. Son principal objectif est alors d'essayer de dégager des profils-types de comportements chez les élèves (qui seront ensuite généralisés aux rôles que peuvent jouer des individus dans un groupe) et de voir si des profils associatifs peuvent être faits à l'intérieur des groupes. Il va donc partir d'une micro-analyse des échanges verbaux et gestuels et va procéder à quatre sortes d'observations pour chacun des élèves : le volume d'intervention, le type d'intervention, les gestes de type communicatif (regards, mouvements) et les réactions des autres (ce que les interventions entraînent).

Il en ressort quatre profils types :

- **L'Animateur** : Il se caractérise par une multiplicité d'interventions (de type interrogatif ou propositif) qui n'ont pas toujours un sens très précis, un nombre important de gestes de type communicatif (regards et mouvements d'approche), une orientation en direction de plusieurs partenaires (même si l'un d'eux est privilégié) et d'une manière générale, ses interventions entraînent une réaction positive. Ces caractéristiques le désignent volontiers comme tenant une place importante dans le groupe avec une tendance à contrôler l'action du groupe.
- **Le Vérificateur** : Ses interventions se situent par rapport à des interventions émises antérieurement par d'autres membres du groupe (elles seraient d'avantage de type réponse), elles sont de formulation précise (réponses caractérisées, énonciations de règles mathématiques) et sont appuyées par des régulateurs et des regards très

orientés et tenaces, elles entraînent rarement d'autres interventions.

Cet individu joue un rôle plus discret quantitativement (interventions moins nombreuses) mais n'en exerce pas moins une influence très certaine sur la correction de la démarche mathématique.

- **Le Quêteur** : Il pose énormément de questions et ces propositions sont de type très dubitatif. Il adresse des regards (surtout des regards en quête de recherche) à un ou plusieurs partenaires, il multiplie les gestes d'autocontact qui souvent traduisent une inquiétude, et la plupart du temps ses questions sont bien acceptées. Cet individu essaye donc de glaner des renseignements et des encouragements de la part des autres pour faire son travail. Ce quêteur collabore néanmoins à la marche du groupe car il oblige à énoncer clairement des éléments de solution en réponse à ses questions.
- **L'Indépendant** : Il est beaucoup plus discret que les autres : il parle rarement et apporte peu ou pas d'éléments à la résolution du problème, il adresse peu de regards aux autres (surtout si l'on semble s'adresser à lui) comme s'il refusait le contact, ses rares interventions restent comme en suspens, sans que l'on puisse dire qu'il s'agisse de rejet de la part des autres.

La richesse et la variété de ces profils ont conduit Pléty à se demander si des associations plus ou moins marquées entre certains de ces individus étaient influencées par leur type de profils. Il s'est alors rendu compte que les rôles que s'attribuent les partenaires ne sont pas tout à fait indépendants de la place physique qu'ils occupent autour d'une table, et que les regroupements qui en découlent ne sont également pas anodins [PLE96]. En effet, il semble que l'animateur et le vérificateur constituent l'axe fort des échanges et exercent ainsi un leadership relationnel et cognitif, tandis que les autres vont se positionner plus ou moins facilement par rapport à cet axe. Il conclut tout de même en remarquant que ces dispositifs ne sont pas nécessairement constants durant le temps complet du travail mais qu'ils peuvent s'observer successivement au sein d'un même groupe. Ces axes de relation constituent des modalités de régulation de l'interaction au sein d'un groupe.

La question qui vient immédiatement à l'esprit à l'issue de ces travaux est de se demander si cette vision est généralisable et si l'on retrouve bien tous ces profils quelque soit le groupe dans lequel on se situe. A cela, Pléty apporte l'argument suivant pour des personnes distribuées sur un réseau : « *curieusement, on y retrouve les mêmes aspects d'appartenance, de cohésion et de leadership que dans les groupes ordinaires* ». D'ailleurs, un certain nombre de personnes se sont inspirées de ces travaux dans des domaines bien particuliers et quelques-uns ont même essayé d'apporter une modélisation statistique à cette proposition. C'est le cas de Sébastien George dont nous allons présenter maintenant une partie des travaux.

Calcul statistique des profils comportementaux

Sébastien George s'est intéressé à l'apprentissage collectif dans un contexte de distance et à l'utilisation des technologies informatiques pour le soutenir [GEO03]. Son objectif est de concevoir un système d'analyse automatique afin d'identifier les quatre profils de comportements relevés par Pléty. Bien entendu, étant tout à fait conscient de la difficulté de modéliser des comportements humains, il souhaite simplement disposer d'une image du comportement social lors de conversations plutôt qu'un véritable modèle d'apprenant. Les formules heuristiques qu'il utilise sont déterminées non seulement à partir des travaux de Pléty mais ont été affinées également lors d'expérimentations. La première formule

qu'il calcule est celle du coefficient de participation d'un participant p en divisant le nombre de messages envoyés par celui-ci par le nombre moyen de messages envoyés par les participants. La formule se présente donc sous la forme suivante :

$$CoefParticipation(p) = \frac{NbreMessages(p)}{MoyMessages} * 50 \quad (2.1)$$

Il émet également les postulats suivants relatifs à cette équation : Si le nombre de messages envoyés par un participant est égal au nombre moyen de messages, alors le coefficient de participation de cette personne est de 50. Un coefficient de participation proche de 0 indique une faible participation (cela correspond à l'indépendant défini par Pléty) alors qu'un coefficient proche de 100 indique une forte participation (ceci est synonyme de l'animateur pour Pléty) dans la conversation. Pour tous les calculs, si le coefficient dépasse 100, il est automatiquement ramené à 100. Dans le cas présent, une valeur de 100 au coefficient de participation signifie que le participant a envoyé deux fois plus de messages que la moyenne.

A la suite de ce calcul, il propose également quatre types de coefficients qui permettent de dégager des profils comportementaux utiles dans son application. Il peut alors ensuite construire un outil dont l'objectif est d'observer l'évolution de ces profils.

Les travaux de Robert Pléty montrent, qu'au sein d'un groupe, chaque individu, en fonction de son caractère et de ses attentes, se positionne par rapport aux autres et acquiert une place plus ou moins importante selon le comportement adopté. A partir de cette constatation, une question vient immédiatement à l'esprit : En est-il de même pour la confiance ? Quelles sont les mécanismes mis en place lorsque nous décidons de faire confiance à quelqu'un ? Existe-il différentes formes de confiance et ont-elles un rapport avec le caractère d'une personne ? Toutes ces questions n'ont, bien entendu, pas échappées aux chercheurs en psychologie sociale même si certains s'accordent à dire qu'il s'agit d'une notion floue et ambiguë [BID98].

2.3.4 La confiance : une notion indispensable mais complexe

Des définitions et encore des définitions...

La question de confiance est fréquemment posée dans différents domaines de la vie et une vaste littérature existe sur ce sujet (surtout depuis les années 1990). L'hétérogénéité des notions et l'absence d'une définition simple et commune ne doit pas surprendre puisqu'il s'agit d'un phénomène non seulement traité par différentes disciplines des sciences sociales mais également par diverses approches au sein de chaque discipline ! Ainsi, les points de vue recensés sont à replacer dans un contexte bien spécifique selon les objectifs finaux de chacun.

En psychologie sociale, les chercheurs soulignent que la confiance est l'élément fondateur de tout échange et qu'il est un facteur essentiel pour la stabilité et la continuité de la relation dans le temps [DEU60], [LB95]. A partir de là, un certain nombre d'auteurs apportent leur contribution à l'explication de cette notion : « *Trust is a generalized expectancy held by an individual or group that the word, promise, verbal or written statement of another individual or group can be relied on* » [ROT71], « *Trust is an expectancy of positive (or nonnegative) outcomes that one can receive based on the expected action of another party in an interaction characterized by uncertainty* » [BDP98], « *Trust is something which*

emerges gradually and which remains open to revision as experience accumulates and further knowledge is gained » [LL98].

Compte-tenu du caractère multidisciplinaire de ce concept, nous avons décidé de ne retenir que la vision psychologique de sa définition et s'appuyer ainsi sur le fait qu'elle permet un comportement coopératif et rassure les parties d'échange en cas d'incertitude. De plus, nous pensons également que la perception de la confiance et la disposition à la confiance sont largement fonction d'expériences (individuelles) du passé. Certaines analyses soulignent, d'ailleurs, de manière positive et optimiste que les conditions pour un renforcement du niveau de confiance peuvent être stimulées par le pouvoir politique (notamment par des transferts et par l'éducation [KZ03]). La typologie proposée par Zucker [ZUC86] argumente, du reste, en ce sens comme nous allons le prouver dans le paragraphe suivant.

Typologie de Zucker sur la confiance

Zucker définit trois formes de confiance suivant leurs modes de production [ZUC86] :

- Une confiance basée sur les caractéristiques propres à la personne. Ce premier type est lié directement aux caractéristiques de l'individu (confiance qui ne fait donc pas l'objet d'échanges puisqu'elle est propre à chaque personne) et est construit à l'extérieur d'une relation. C'est le cas d'appartenance à une même famille ou dans une communauté qui partage les mêmes croyances.
- La confiance institutionnelle;
- La confiance relationnelle.

Concernant la **confiance institutionnelle**, elle est attachée à une structure formelle qui garantit l'engagement effectif des acteurs. Zucker distingue deux types de confiance institutionnelle : une confiance liée à une personne ou une entreprise et une confiance liée à des intermédiaires. En ce qui concerne le premier type, il est construit en fonction des signaux, tels que le nom d'une marque ou les diplômes universitaires d'un individu. Ces signaux reflètent une crédibilité (dans le sens de ce que l'on peut croire) ou une compétence qui garantit les actions de l'autre partie. Le deuxième type, quant à lui, repose sur les garanties d'une tierce personne à propos de l'engagement de deux parties dans une relation d'échange. C'est le cas, par exemple, dans les métiers d'avocat, où la méfiance qui peut exister, sera limitée par des garanties apportées par l'état et l'ordre des avocats [KAR96].

On ne parle de **confiance relationnelle** que si, au départ, on suppose l'existence d'une relation d'échanges entre les parties. Cette relation est définie comme étant le résultat d'un ensemble d'interactions dans le passé qui auront des conséquences futures entre les partenaires. La confiance relationnelle est donc le produit d'une relation et son maintien, ainsi que son développement, sont fonction de la durée de la relation et de la stabilité des partenaires. Dans ce sens, les sociologues affirment que l'une des conditions de création de la confiance lors d'une relation est que les deux parties partagent des valeurs communes qui peuvent être transformées en objectifs communs dont la réalisation sera effectuée au cours de cette relation [LW85]. Cette situation va créer une interdépendance opérationnelle et sociale qui développe un sentiment de communauté chez les partenaires. Ces dernières années, la confiance relationnelle a fait l'objet de nombreuses recherches afin de déterminer son cadre conceptuel et comprendre son mécanisme ainsi que son rôle dans une relation [MH94].

2.3.5 Conclusion

Nous nous sommes attachés, dans cette section, à présenter rapidement la psychologie sociale et ses ambitions. Nous avons vu, à travers quelques travaux, qu'il s'agissait avant tout d'une discipline basée sur des expérimentations. Finalement, cela n'a rien de bien étonnant car comment pourrait-on comprendre les interactions et les influences exercées dans une société sans les observer auparavant... Nous nous sommes également aperçus que les thèmes clés appréhendés étaient assez larges puisque cela passait par l'étude des rôles sociaux pour arriver jusqu'aux mécanismes de l'influence. Pourquoi s'intéresser à autant de champs à la fois? L'homme est-il si complexe à comprendre? Peut-on tout apprendre d'un individu simplement en le regardant se comporter avec les autres et en analysant ses interactions. Le psychologue et philosophe américain William James pensait qu'« *à proprement parler, un homme a autant de sois sociaux qu'il y a d'individus qui le connaissent, qui possèdent à l'esprit une image de lui* ». C'est ce qui caractérise et anime les fondateurs de la psychologie sociale puisque pour eux, on ne peut pas penser l'individu, son identité, sa personnalité et ses conduites indépendamment de ses relations sociales.

Cette section a également permis d'introduire les travaux de Robert Pléty concernant l'importance des interactions dans un groupe. Même si ses constations peuvent paraître simplistes et sans réels fondements, nous avons vu que ses recherches étaient souvent utilisées par d'autres auteurs et même modélisées. A partir de cela, nous avons décidé de nous appuyer, pour la suite de notre travail, sur cette manière de concevoir les interactions dans un groupe et sur le fait que des profils comportementaux peuvent être dégagés automatiquement lorsque des individus se regroupent pour travailler ensemble et échanger des idées. Nous verrons, dans la partie 3 de cette thèse, que nous partirons de cette base pour accorder plus ou moins de crédibilité à un individu lorsqu'il parle.

Enfin, nous avons également mis en avant la notion de confiance et avons vu qu'il s'agit d'un concept encore assez flou pour un certain nombre de chercheurs même s'ils conviennent tous de l'importance de la prendre en compte lors de l'étude des interactions humaines. Nous nous sommes, plus particulièrement, attachés à présenter la typologie proposée par Zucker et avons vu que deux sortes de confiance pouvaient être dégagées : la confiance institutionnelle et la confiance relationnelle. Même si cette recherche présente quelques limites, nous avons décidé de retenir cette façon de concevoir la confiance pour la suite de notre travail et essayerons de l'enrichir afin de la rendre plus perspiciace.

2.4 Discussion

Notre principal objectif, dans ce deuxième chapitre, était de présenter quelques disciplines (et nous sommes parfaitement conscients de notre non exhaustivité dans ce domaine mais une thèse entière pourrait être consacrée à ce sujet sans en venir à bout...) faisant partie des sciences cognitives et qui ont, bien entendu, un lien avec l'orientation adoptée pour ce travail. Il est vrai que les sciences cognitives sont une discipline relativement jeune mais connaissant un véritable regain d'intérêt de part sa pluridisciplinarité aussi bien scientifique que philosophique. Même si les travaux vraiment pluridisciplinaires sont encore rares, des objets d'étude commune ont été définis et des concepts partagés. Tous les chercheurs concernés ont vu leur démarche évoluer, sinon se renouveler profondément à son contact.

L'enjeu de ces sciences est considérable : au-delà des simples programmes de recherches

techniques, elles sont porteuses d'un projet anthropologique, d'une nouvelle définition de l'homme. Pourtant plus la modélisation avance et plus le modèle humain semble s'éloigner. Il est tentant de définir l'esprit comme, précisément, ce qui manque encore à toutes les simulations. Il se pourrait finalement que les sciences cognitives n'arrivent qu'à une caractérisation par défaut de l'homme mais sans véritables fondements. Ce serait finalement déjà un premier résultat intéressant mais bien loin des ambitions de départ...

Nous ne pourrions finir ce chapitre sans évoquer la science pilote qui a conduit au renouvellement des approches de la cognition et autour de laquelle se sont agrégées toutes les autres : l'Intelligence Artificielle (IA). Et oui, que seraient les sciences cognitives sans le rêve de John Von Neumann (1903-1957) de construire des machines capables de réfléchir, de communiquer, de penser ? L'ambition de l'IA est certes louable mais le fait de négliger les phénomènes perceptifs et moteurs pour ne s'intéresser qu'aux opérations abstraites et nobles de la pensée (bien entendu beaucoup plus facilement modélisable) a quelque peu discrédité cette discipline. Pourtant des systèmes experts (comme le GPS de Simon ou le système MYCIN de Shortliffe) ont vu le jour et les recherches dans ce domaine ne cessent de se développer depuis 1950. L'année 1970 marque même un nouveau tournant pour l'IA avec l'apparition de l'IA distribuée dite encore IA multi-agents dont l'objectif est de faire travailler ensemble, et surtout de manière coordonnée, un certain nombre d'agents autonomes, robots ou systèmes experts, à la résolution de problèmes complexes. Nous allons donc, dans ce troisième chapitre, voir de manière plus détaillée cette partie de l'IA qui ne cesse d'attirer l'intérêt, non seulement des scientifiques, mais également des industriels.

Chapitre 3

Les Systèmes Multi-Agents : l'avenir de l'Intelligence Artificielle ?

« Si l'homme devenait une mécanique, il faudrait bien, par un retour nécessaire à l'équilibre du monde, qu'une autre mécanique fabriqua...l'âme. »

A. Jarry.

Les systèmes multi-agents sont nés des recherches sur l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) et sur la vie artificielle. L'IAD représente une branche de l'Intelligence Artificielle qui s'intéresse plus particulièrement à la conception d'agents artificiels capables de s'organiser efficacement pour accomplir collectivement les tâches qui leur sont demandées (l'autre branche étant, bien entendu, la résolution distribuée de problèmes qui étudie comment distribuer des compétences au niveau de chaque partie du système, de façon à ce qu'il soit globalement plus compétent que chacune de ses parties). Depuis le milieu des années 1970, l'IAD évolue rapidement et se diversifie au niveau des domaines d'application. Aujourd'hui, il s'agit d'un champ spécifique qui inclue l'intelligence artificielle, l'économie, la sociologie, l'environnement... Cette diversité rend ainsi difficile la possibilité de donner une définition réaliste de cette notion bien que Gerhard Weiss [WEI99] en donne pourtant une explication assez large : *« L'IAD est, en partie, l'étude, la conception et la réalisation de Systèmes Multi-Agents, c'est-à-dire de systèmes dans lesquels des agents intelligents interagissent, poursuivent un ensemble de buts ou réalisent un ensemble d'actions »*.

L'Intelligence revêt ici un caractère différent puisqu'elle représente la capacité pour un agent d'adopter un comportement souple, coopératif et rationnel dans un environnement changeant et imprévisible. Remarque, si nous nous amusons à regarder les définitions données pour ce terme, nous nous apercevons que cette notion ne dévie en rien de l'intelligence humaine. En effet, pour la plupart des êtres humains, l'Intelligence reflète non seulement *« la faculté de comprendre, de saisir par la pensée »* mais également *« l'aptitude à s'adapter à une situation, à choisir en fonction des circonstances »* [LAR00]. Cette idée d'associer l'intelligence à la capacité à s'adapter à une situation se retrouve également chez certains psychologues comme Jean Piaget que nous avons vu dans le chapitre précédent. La seule véritable différence réside finalement dans les techniques mises en oeuvre pour parvenir à ce changement, quoique là encore, des similitudes peuvent se retrouver (dans les techniques d'apprentissage par exemple). Nous essayerons de garder à l'esprit ce point de vue qui nous servira de fil conducteur tout au long de nos propos. Le concept d'agent est devenu très important dans le domaine de l'Intelligence Artificielle

et plus généralement dans celui de l'informatique. Cependant, compte tenu du caractère récent de cette notion, il n'existe pas encore de définition formelle des termes « agent » et « système multi-agents » qui soit acceptée par tout le monde [JW98], et de véritables cadres conceptuels de modélisation sont encore loin d'être uniformes. Néanmoins, certaines spécificités peuvent être convenues et se retrouvent plus ou moins chez la plupart des chercheurs de la communauté.

Nous allons donc aborder, dans ce troisième chapitre, des définitions et des concepts clés dans le domaine des SMA qui nous paraissent les plus appropriés compte-tenu du point de vue que nous adoptons dans cette thèse. Notre objectif n'est pas, bien entendu, d'établir un état de l'art complet et rigoureux de ces notions mais plutôt d'introduire certaines spécificités qui nous seront utiles par la suite. Il s'articulera essentiellement autour de quatre sections : la première section s'attachera à présenter les thématiques agents et systèmes multi-agents de manière quelque peu détaillée. La deuxième s'intéressera à la notion d'apprentissage dans ce domaine. La troisième fera un rapide tour d'horizon des langages de communication développés pour les agents. Et la quatrième s'attardera plus spécifiquement sur la notion de confiance.

3.1 Quelques définitions de base

3.1.1 Qu'est-ce qu'un agent ?

Définitions rencontrées

Le nombre de définitions rencontrées pour représenter un agent ne manque pas, que ce soit dans le domaine de l'Intelligence Artificielle classique ou celui de l'Intelligence Artificielle Distribuée. En ce qui concerne l'Intelligence Artificielle classique, Newell est le premier à avoir parlé d'agent rationnel pour représenter un système [NEW82]. Cet agent est doté de fins - l'ensemble des buts -, de moyens physiques d'interaction avec le monde extérieur - l'ensemble des interactions - et de compétences - le corpus de connaissances - liant fins et moyens selon le principe de rationalité.

Si l'on se restreint maintenant au niveau de la communauté multi-agents, parmi toutes les définitions qu'il est possible de trouver, celle de Russel et Norvig [RN95] présente l'agent comme celui qui peut percevoir et agir sur son environnement à travers des capteurs et des effecteurs, qui sont, à priori, imparfaits. En effet, les capteurs ne donnent qu'une image partielle de l'environnement à l'agent (une image peut-être imprécise si, par exemple, un obstacle se trouve dans le champ de vision du capteur) et les effecteurs peuvent être non déterministes puisqu'il n'est pas toujours possible de prévoir leurs effets sur l'environnement. La figure 3.1 permet d'illustrer ces propos :

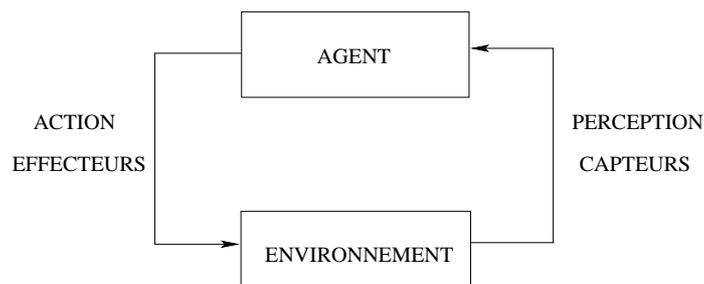


FIG. 3.1 – Représentation d'un agent selon Russel et Norvig

Cette première définition, très généraliste, permet certes, de pouvoir identifier des agents dans plusieurs domaines d'applications, mais elle ne nous fournit aucune indication sur le comportement de l'agent et ses capacités à communiquer avec le monde extérieur.

Pour répondre à ce besoin, la définition donnée par Wooldridge en 1995 [WJ95] introduit certains concepts clefs précisant ainsi la notion d'agent : « *An agent is a computer system that is situated in some environment, and that is capable of autonomous and flexible action in this environment in order to meet its design objectives* ».

- L'**autonomie** implique que l'agent est capable d'agir sans l'intervention d'un tiers et contrôle ses propres actions ainsi que son état interne.
- La **flexibilité** englobe les termes de capacités sociales (l'agent interagit avec d'autres agents à travers des langages de communication), de réactivité (l'agent perçoit son environnement et répond aux changements qui y surviennent), de pro-activité (l'agent n'agit pas simplement en réponse à son environnement mais énonce aussi ses objectifs en prenant des initiatives).
- Le terme **situé** indique que l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement.

Ainsi, un agent est donc une entité physique ou virtuelle en situation dans un environnement avec lequel il interagit. Une des propriétés importantes qui apparaît dans cette définition est celle d'autonomie, puisque sans elle, l'agent se restreint à un simple objet informatique qui possède des données et propose des méthodes [ODE02].

Jacques Ferber considère comme agent intelligent « *toute 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 univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de sa connaissance et des interactions avec les autres agents* » [FER95]. Cette définition met l'accent sur les capacités de l'agent à interagir avec les autres agents et à s'adapter en fonction de chaque changement de situation. Bien qu'ayant certaines similitudes avec la définition de Wooldridge, la définition de Ferber permet d'évoquer la notion de représentation partielle de l'environnement qui est une propriété très utile dans un certain nombre d'applications (exemple : un agent mobile a seulement une représentation partielle du réseau Internet).

Un élément important, qui n'a pas encore été évoqué de manière explicite mais qui nous sera particulièrement précieux pour la suite de nos travaux, est la notion d'apprentissage. A ce sujet, Jean Sallantin [SAL97] associe un agent à « *un système modifié par son interaction avec son environnement* ». Ainsi, un système qui a la capacité de s'auto-modifier en apprenant est appelé agent. Selon le degré d'autonomie de l'agent et selon sa forme d'interaction avec les autres agents, il sera **réactif** si son comportement est réflexe, **déli-bératif** s'il peut tenter d'expliquer son raisonnement et **intentionnel** s'il peut planifier des actions.

A l'issue de ces différents points de vue, trois notions clés nous apparaissent primordiales lors de la construction d'un agent : l'**autonomie**, la capacité de **communication** et celle d'**apprentissage**.

Notre définition d'agent

La définition de Léonard Foner [FON93], plus restreinte que les autres puisqu'il ne considère comme agent que des entités en relations entre elles, requiert quatre points pour pouvoir parler d'agents :

- **L'autonomie** : un agent doit être capable de comportements qualifiés de spontanés et avoir une certaine initiative dans son action afin de remplir seul sa tâche.
- La **personnalisation** (*personalizability*) : un agent doit pouvoir apprendre et évoluer dans sa méthode de traitement de tâche. Par ce terme, Foner considère l'agent comme s'adaptant à l'utilisateur qui l'exploite. On peut aussi considérer le fait qu'avec son expérience, l'agent acquiert une « personnalité », qui le rend différent des autres agents. Un agent est ainsi différencié et individualisé. Le point clé de la personnalisation reste, bien entendu, l'apprentissage.
- La **conversation** : ce point est essentiel et fait toute la spécificité de la définition de Foner. Il pose que pour être considérée comme agent, une entité informatique doit posséder des capacités d'interaction avancées. Il aborde explicitement la notion d'enchaînement conversationnel et d'évolution des conversations entre deux partenaires au cours des différentes interactions. Grâce à ce critère, Foner fait remarquer qu'une boîte à vitesse automatique ou un ramasse-miettes de table ne peuvent être considérés comme des agents car il leur manque ces capacités conversationnelles. Pourtant selon certaines définitions, un ramasse-miettes qui prend des initiatives pour rendre un environnement de travail plus efficace pourrait être qualifié d'agent.
- La **coopération** : les différents agents collaborent entre eux dans un but commun. Ceci est souvent synonyme de conversations bilatérales entre les agents dans lesquelles chaque partie peut poser une question et répondre librement. Ainsi, chacun réagit réciproquement, un peu comme des pairs.

Dorénavant, nous retiendrons cette définition puisqu'elle regroupe quatre notions importantes dans la cadre de nos travaux.

Autres caractéristiques d'un agent

Nous avons résolu, dans le cadre de ce mémoire, le problème de la définition du terme agent, et avons aussi mis en avant trois aspects (l'autonomie, l'apprentissage et la communication) qui resteront prépondérants dans notre travail. Nous allons dans la sous-section suivante nous attarder sur d'autres caractéristiques classiques des agents, lesquelles vont permettre de préciser sous quelles hypothèses est conduite cette thèse.

L'environnement Cette notion est essentielle dans le problème que pose l'Intelligence Artificielle Distribuée puisque sans lui un agent devient inutile [OPFB02]. En effet, l'environnement produit les conditions nécessaires à l'existence de l'agent et définit les propriétés du monde dans lequel il peut fonctionner.

Russell et Norvig [RN95] présentent une caractérisation relativement générique de l'environnement, du point de vue de l'agent, et précisent cinq principales propriétés qu'il est courant d'observer :

- **Accessible / inaccessible** : L'agent a-t-il accès à l'état complet de l'environnement, ou certaines informations restent-elles non ou mal connues?
- **Déterministe / non-déterministe** : Le prochain état de l'environnement est-il complètement déterminé par son état courant et l'action sélectionnée par l'agent?

Remarque : un environnement déterministe peut ne pas l'être du point de vue de l'agent, du fait d'une connaissance insuffisante de l'état de l'environnement.

- **Épisodique / non-épisodique** : On parle d'environnement épisodique (on dit aussi que le temps est discrétisé) si l'expérience de l'agent peut être divisée en « épisodes ». Chaque épisode consiste en une phase de perception puis en une phase d'action, le résultat de l'action ne dépendant que de la période courante.
- **Statique / dynamique** : Un environnement est dit dynamique s'il peut changer pendant la prise de décision de l'agent. Il est dit statique dans le cas contraire. Si le seul changement lié au temps est la performance atteinte, on parlera d'environnement semi-dynamique.
- **Discret / continu** : S'il existe un nombre limité de perceptions et d'actions possibles, on parlera d'environnement discret.

Tous ces items permettent de préciser l'environnement dans lequel un agent se situe en fonction des caractéristiques qui lui sont attribuées et de ses objectifs. Cependant, compte tenu de nos besoins, nous retiendrons plutôt la définition proposée par James Odell [OPFB02] pour la suite de nos travaux. Ainsi, « *an environment provides the conditions under which an entity (agent or object) exists* ». En d'autre terme, l'environnement d'un agent ne se compose pas seulement des autres agents qui l'entourent mais également de tous les principes et processus à partir desquels l'agent existe et communique.

Architecture interne d'un agent Un autre aspect important lors de la construction d'un agent est la description de son architecture. Par opposition à l'architecture externe (regroupant les capteurs et effecteurs dont l'agent est doté), l'architecture interne d'un agent se compose des mécanismes qui régissent son comportement. Ce point de vue interne correspond aux étapes de perception, de raisonnement et d'action avec une mention particulière à la *décision d'action* lors de l'étape de raisonnement. Il englobe ainsi l'ensemble des mécanismes, plus ou moins complexes, produisant le comportement de l'agent. A ce titre, une distinction classique se fait dans le domaine multi-agents entre les **agents réactifs**, réagissant de façon réflexe à leur environnement et pouvant fonctionner selon le schéma stimuli-réponses, et les **agents cognitifs**, capables de planifier sur la base d'un modèle de leur univers et pouvant faire appel à des représentations de l'environnement, des mécanismes d'apprentissage et de planification, de communication directe avec d'autres agents... La limite entre ces deux notions est, cependant, quelque peu imprécise. En effet, un agent construit sur un simple réseau de neurones sera considéré comme un automate à moins qu'un mécanisme d'apprentissage lui permettant de s'adapter efficacement à son environnement soit introduit. De plus, certains chercheurs affirment qu'il est difficile de travailler avec une architecture typiquement réactive ou délibérative et suggèrent, au contraire, d'utiliser des **agents hybrides**, qui combinent les deux :

- Un sous système délibératif contenant un monde symbolique qui peut planifier, délibérer, apprendre...
- Un sous système réactif qui réagit aux événements sans raisonnement complexe.

Nous ne développerons pas dans cette section un panorama des différentes architectures ou modèles d'agents existants, un état de l'art assez complet ayant été réalisé par Olivier Boissier sur ce sujet [BD01a]. Au vue des différentes caractéristiques nécessaires à nos agents, nous considérerons, par la suite, que nos agents sont cognitifs.

Mémoire de l'agent Pour terminer cette partie, nous allons évoquer rapidement la mémoire pour un agent, notion qui nous sera utile dans nos travaux. Deux principaux types de mémoire peuvent-être rencontrés : la **mémoire à court terme**, situation dans laquelle un agent peut choisir une action sans se souvenir de ce qu'il a fait précédemment, par opposition à la **mémoire à long terme**, où l'agent enregistre et mémorise les actions qu'il a fait auparavant afin de pouvoir s'en servir par la suite.

Étant donné que nous utilisons des processus d'apprentissage, nous emploierons plutôt une forme de mémorisation à long terme puisque notre agent intégrera automatiquement chaque nouveau terme appris (nous reviendrons plus en détails sur ce point dans la partie 3 de cette thèse).

Conclusion Au cours de cette première partie, nous avons essayé de clarifier la notion d'agent en énonçant un certain nombre de définitions afin d'en dégager les caractéristiques qui nous sont indispensables pour la suite. Par ailleurs, nous avons également présenté d'autres propriétés essentielles à la conception d'un agent puisque le travail de tout concepteur est de créer un système qui gère un certain type de comportement. Dès lors, nous allons nous diriger vers un domaine qui étudie l'utilisation des agents en groupe, celui des systèmes multi-agents.

3.1.2 Qu'est-ce qu'un système multi-agents?

Comme nous pourrions nous en douter, un agent ne constitue pas à lui seul un système multi-agents (bien que selon le principe de récursion [DEM97], un système multi-agents peut être considéré comme un seul agent à un niveau supérieur d'abstraction, c'est à dire qu'à un niveau interne un agent peut-être un système multi-agents). Au contraire, ce système se compose de plusieurs agents en interactions les uns avec les autres. La sous-section suivante s'attache à présenter les principales définitions possibles dans ce domaine.

Définitions rencontrées

Le système multi-agents (*Multi-Agent System* en anglais) peut être défini comme étant un ensemble organisé d'agents [BD01b]. Ceci signifie que dans un système multi-agents, il existe une ou plusieurs organisations qui structurent les règles de cohabitation et de travail collectif entre les agents (définition des différents rôles, partage de ressources, dépendance entre tâches...). Les agents sont généralement situés dans un environnement contenant également des entités passives communément appelés objets. Un système multi agent est donc intrinsèquement décentralisé [BD01b].

En 1995, une approche intégrée (l'approche « Vowels ») des systèmes multi-agents est proposée par Yves Demazeau. Elle est basée sur une décomposition en quatre parties [DEM95] :

- **Agents A**, qui concernent les modèles ou architectures utilisées pour la partie active de l'agent, depuis un simple automate jusqu'à un système complexe à base de connaissances.
- **Environnement E**, qui sont des milieux dans lesquels évoluent les agents. Ils sont généralement spatiaux.
- **Interactions I**, qui englobent les infrastructures, les langages et les protocoles d'interactions entre agents, depuis les interactions physiques jusqu'aux interactions

par actes de langage.

- **Organisation O**, qui structurent les agents en groupes, hiérarchies, relations...

De plus, cette approche est guidée par deux principes :

- **L'approche déclarative** qui peut se résumer à travers cette équation :

$$SMA = Agents + Environnement + Interactions + Organisation$$

- **L'approche fonctionnelle** : d'un point de vue informatique, les fonctionnalités des SMA incluent les fonctionnalités individuelles des agents enrichies des fonctionnalités qui résultent de la valeur ajoutée par le système multi-agents lui-même, parfois appelée intelligence collective. Une deuxième équation peut alors être formulée :

$$Fonction(SMA) = \sum Fonction(Agents) + FonctionCollective$$

Pour Ferber, un système multi-agents doit être composé des éléments suivants [FER95] :

- **Un environnement E**, c'est-à-dire un espace.
- **Un ensemble d'objets O**. Ces objets sont situés, c'est-à-dire que pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E. Ils sont passifs, peuvent être perçus, détruits, créés et modifiés par les agents.
- **Un ensemble A d'agents** qui sont des objets particuliers, lesquels représentent les entités actives du système.
- **Un ensemble de relations R** qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
- **Un ensemble d'opérations Op** permettant aux agents de percevoir, produire, consommer, transformer, et manipuler des objets. Cela correspond à la capacité des agents de percevoir leur environnement, de manger, etc.
- Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification (que l'on appelle les lois de l'univers).

Cette définition donne ainsi une vision assez large de la structure d'un système multi-agents mais sous-entend la présence de tous ces éléments pour qu'un système soit considéré comme tel.

Jennings donne un sens plus général au terme système multi-agents et l'utilise pour tous types de systèmes formés de plusieurs composants autonomes qui respectent les caractéristiques suivantes [JWS98] :

- Chaque agent a des possibilités limitées pour résoudre un problème - il a ainsi un point de vue partiel ;
- Il n'existe pas de contrôle global du système ;
- Les données sont décentralisées ;
- Le calcul est asynchrone.

Enfin, conformément au point de vue généralement utilisé, un système multi-agents est composé de différents agents qui interagissent mais qui sont limités et diffèrent au sein de leurs capacités sensorielles et cognitives aussi bien que dans leur connaissance de l'environnement [WD99].

Conclusion

Compte tenu de toutes ces définitions, nous considérons, pour la suite de nos travaux, qu'un système multi-agents est un ensemble d'agents capables d'interagir entre eux et

de communiquer. La communication est, en effet, un point important dans nos travaux puisqu'elle permet non seulement aux agents de s'envoyer et de comprendre des messages mais également d'avoir des conversations structurées dans lesquelles chaque mot revêt son importance. C'est pour cette raison que nous lui accorderons une section entière dans ce chapitre.

3.1.3 Synthèse

Reprenons tout d'abord la définition que nous avons choisi d'attribuer à un agent : un agent est une entité active et autonome, qui doit pouvoir évoluer au cours du temps, interagir avec son environnement (en considérant la définition d'Odell) et coopérer avec les autres. Un agent réagit bien entendu aux messages venant des autres agents par l'envoi de messages à ces mêmes agents et/ou à d'autres. Il est autonome dans le sens où son état interne et son processus de décision sont encapsulés. La figure 3.2 synthétise les notions abordées dans cette section :

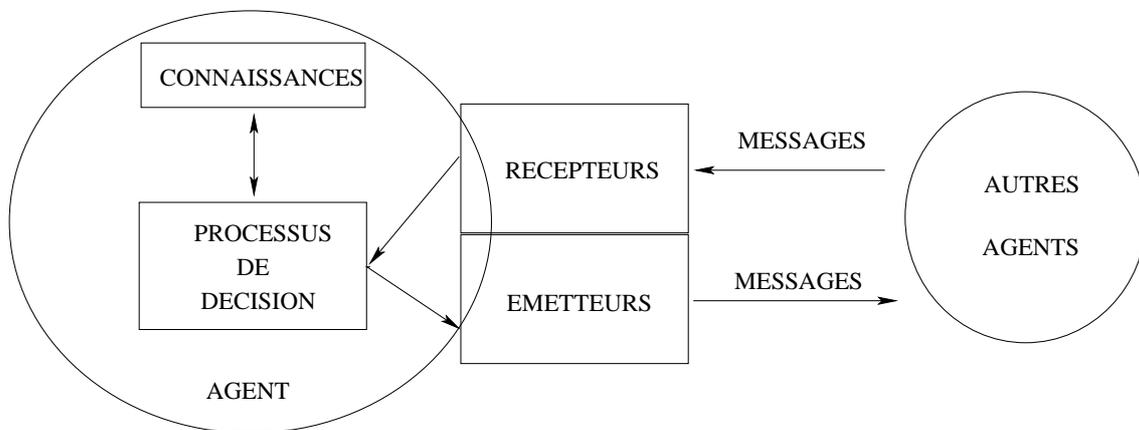


FIG. 3.2 – Synthèse concernant la définition d'un agent

Nous remarquerons que les variables internes de l'agent n'apparaissent pas : elles font implicitement partie des connaissances. La perception et l'action internes ne sont pas non plus représentées : en fait, ces mécanismes sont en général à peine évoqués dans les ouvrages que nous avons pu lire. Ces capacités de l'agent sont souvent considérées comme implicites, car la perception et l'action externes prévalent.

Nous avons également vu dans la définition de Foner, la notion de « personnalisation » qui permet à un agent de s'adapter en fonction de la tâche qui lui est allouée. Pour cela, un mécanisme clé apparaît, celui de l'apprentissage. Nous allons, donc, dans la section suivante, développer un peu plus ce sujet.

3.2 La notion d'apprentissage dans les SMA

3.2.1 Introduction

« Pour pouvoir être qualifié d'intelligent, un système artificiel doit être doté de capacités d'apprentissage » [VBS98]. Le domaine de l'apprentissage a émergé depuis plus d'une quinzaine d'années au sein de la communauté systèmes multi-agents suite à un réel besoin de techniques et de méthodes visant à améliorer les performances de ces systèmes

[GOL96] tout en leur permettant d'évoluer. Du fait de leurs complexités de conception au niveau de l'architecture, des protocoles d'interactions ou même des comportements de tous les agents, l'apprentissage apparaît comme une solution efficace pour maximiser les performances de tous les acteurs du système. Chaque agent peut ainsi apprendre, entre autre, les comportements stratégiques de ses partenaires et réagir plus facilement à chacune des situations. De plus, lorsqu'un système à base d'agents est construit, il est extrêmement difficile et même impossible, a priori, de déterminer correctement un comportement « optimal » qui répondrait à toutes les problématiques et situations qu'un agent pourrait rencontrer. Cela nécessiterait de connaître la nature de l'environnement émergent et le type d'agents qui pourrait s'adapter à ces nouvelles contraintes.

L'apprentissage dans les systèmes multi-agents peut s'effectuer non seulement au niveau de l'agent mais également au niveau du système lui-même (on parle dans ce cas d'apprentissage « collectif » par échange d'informations et partage de croyances) [WEI93]. Il peut également être centré agent, environnement, interaction ou organisation (voir l'article de Laurent Vercouter [VBS98] pour une description plus complète de ces types d'apprentissage). Différentes questions sont alors à élucider : pourquoi apprendre et qu'apprendre?, avec qui apprendre? et surtout comment apprendre, quels sont les moyens à mettre en place pour arriver à une maximisation de ce processus?

Partant de ce constat, nous exposerons, dans cette partie, les techniques utilisées actuellement par la communauté SMA pour introduire l'apprentissage au sein des agents et verrons également les avantages et les inconvénients de chacune d'elles. Nous resterons tout de même assez succincts sur ces descriptions mais proposerons au lecteur des références complémentaires si l'une des techniques l'intéresse plus particulièrement.

Nous profitons de cette introduction pour rappeler la différence entre apprentissage et adaptation. En effet, nous considérons, comme Tom Mitchell [MIT97], qu'il y a apprentissage lorsqu'un système acquière de nouvelles connaissances et devient plus performant alors qu'il y a adaptation lorsqu'un système fait face à de nouvelles conditions sans pour autant devenir plus efficace ou apprendre de nouvelles choses. Bien que la distinction paraisse assez floue, nous estimons pourtant dans notre cas, nous placer dans le cadre d'un apprentissage puisque notre agent acquière un certain nombre de nouveaux concepts pour pouvoir améliorer sa performance au sein du groupe (nous reverrons plus en détails ce point dans la partie 3 de cette thèse).

3.2.2 Apprentissage par renforcement et Q-learning

Les méthodologies existantes dans le domaine du « *machine learning* » ont enthousiasmé une grande partie de la communauté de l'intelligence artificielle distribuée qui prône l'apport de ces méthodes d'apprentissage dans les systèmes multi-agents en développant le principe du « *distributed machine learning* ». Même si certains évoquent les difficultés de mise en place de ces méthodes, d'autres, au contraire, préconisent l'adaptabilité de ces techniques dans la conception de l'apprentissage en SMA [WEI99], [LIN92]. Des algorithmes d'optimisation aussi bien au niveau micro (dans le sens de la maximisation du comportement d'un seul agent) que macro (pour améliorer le comportement global du système) sont donc utilisés telles que l'algorithme d'apprentissage par renforcement.

L'apprentissage par renforcement

Principes de base L'Apprentissage par Renforcement (AR) date des premiers travaux sur la cybernétique et est utilisé tant dans le domaine des statistiques, que de la psycho-

logie, des neuro-sciences ou de l'informatique. Il s'agit de programmer un (ou plusieurs) agent(s) au moyen d'une évaluation par pénalité/récompense sans avoir besoin de spécifier comment la tâche doit être remplie. Nous pouvons citer, à titre d'exemple, un robot mobile qui décide s'il doit entrer dans une pièce pour recharger ou non ses batteries. Il va baser ses décisions en fonction de la rapidité et de la facilité qu'il a eues dans le passé pour trouver une borne d'alimentation. Cette approche combine ainsi deux domaines :

- La **programmation dynamique**, utilisée traditionnellement pour résoudre des problèmes d'optimisation et de contrôle, nécessite la connaissance du modèle du système étudié.
- L'**apprentissage supervisé** permet d'entraîner une fonction paramétrique. Cependant, cette technique nécessite l'accès à un ensemble de couples entrée/sortie qui échantillonne la fonction à approximer.

L'apprentissage par renforcement n'étant pas défini en termes de méthodes d'apprentissage mais en termes de problème d'apprentissage, toute méthode qui paraît adaptée à la résolution d'un problème peut être considérée comme une méthode d'apprentissage par renforcement [SB98]. L'idée de base pour un apprentissage par renforcement est de capter les aspects les plus importants d'un problème réel face à un agent apprenant et interagissant avec son environnement pour la réalisation d'un but précis. De manière plus concrète, l'agent perçoit au moins une partie de l'environnement dans lequel il se situe et peut agir sur cet environnement à travers différentes actions. Après chaque action, une récompense numérique ou une pénalité est donnée.

Deux grandes stratégies existent pour résoudre un problème d'apprentissage par renforcement :

- La première consiste à chercher dans l'espace des comportements, un état qui soit « maximal » par rapport à l'environnement. Cette approche est du ressort des algorithmes génétiques et/ou de la programmation génétique. L'idée sous-jacente aux algorithmes génétiques est d'utiliser une population de solutions potentielles (évaluées globalement et individuellement), et de croiser les individus (représentés sous forme de chaînes de caractères) afin d'obtenir de meilleurs candidats. La programmation génétique repose, quant à elle, sur un codage sous forme de S-expressions des programmes manipulés. Il s'agit alors d'une représentation arborescente du code à exécuter. L'opération de mutation consiste à modifier aléatoirement un noeud de l'arbre, le croisement consiste à recombinaison deux arbres (en échangeant deux sous-arbres ayant la même position).
- La seconde est basée sur des techniques statistiques et de programmation dynamique qui évaluent les actions possibles de l'agent au sein de l'environnement. Dans ce cadre, un agent est connecté à son environnement via des perceptions et des actions. À chaque interaction, l'agent reçoit une entrée i (information relative à l'état courant s de l'environnement), il choisit une action a qui influe, dans une certaine mesure, sur l'environnement (le faisant passer dans un état s'). Cette influence est communiquée à l'agent au moyen d'un signal de renforcement r (un scalaire). L'objectif pour l'agent est de maximiser la somme des renforcements reçus. Son apprentissage s'effectue par de nombreuses expériences.

L'ouvrage de Sutton et Barto [SB98] étant particulièrement complet sur les principes inhérents à l'apprentissage par renforcement, nous ne rentrerons pas d'avantage dans les détails.

AR niveau micro et macro dans les SMA L'apprentissage par renforcement peut-être utilisé, comme nous l'avons déjà évoqué, pour optimiser le comportement d'*un seul agent* du SMA. L'agent reçoit un certain nombre d'informations sur l'état de l'environnement et l'ensemble des états possibles puis sélectionne une action. Suite à cette action, il acquiert une récompense numérique et se retrouve alors dans un nouvel état. A chaque pas dans le temps, l'agent implémente une correspondance de l'état de l'environnement vers les actions possibles à sélectionner. Cette correspondance est appelée la *procédure* de l'agent. Concernant le problème de l'attribution de crédits (récompenses ou pertes), des algorithmes (comme le Q-learning [WD92], le TD(λ)-learning [SUT88] ou les modèles basés sur l'apprentissage par renforcement [MA93], [BBS95]) sont employés.

D'un point de vue *macro-apprentissage*, l'apprentissage par renforcement peut-être utilisé pour transformer le système dans sa globalité et fournir une manière de faire coordonner des agents entre eux. Autrement dit, il peut être employé pour déterminer quels agents doivent travailler ensemble pour résoudre des tâches et quelles politiques doivent être adoptées lors de cette coopération. L'apprentissage des mécanismes de communication entre agents, tels que les protocoles de communication, est également un usage envisageable de cette technique.

Avantages et inconvénients de cette technique Ainsi, comme nous pouvons le constater, ce type d'apprentissage offre de nombreuses possibilités pour des problèmes multi-agents complexes comme le contrôle des feux de circulation [WIE00], l'extinction des feux de forêt [WD98] ou l'allocation dynamique de canaux pour les téléphones cellulaires [SD97]. Plus récemment, l'AR est même utilisé au sein d'environnements dynamiques [WIE02], [SD03] qui sont reconnus comme étant plus délicats à appréhender du fait, entre autre, du caractère dynamique des objets. Certains organismes, comme l'« *Intelligent Inference Systems Corporation* » [BV00], s'intéressent non seulement au développement d'algorithmes pour un seul agent mais également à la coordination adaptative dans les problèmes d'apprentissage par renforcement dans les systèmes multi-agents eux-mêmes.

Les méthodes d'apprentissage par renforcement sont très intéressantes pour apprendre des comportements optimaux pour des agents puisqu'elles ne demandent qu'une rétroaction scalaire de la part du système pour que de tels agents puissent apprendre. De plus, ces méthodes peuvent être utilisées lorsqu'il y a de l'incertain dans la manière dont le monde évolue. Toutefois, la convergence des algorithmes d'apprentissage par renforcement n'a été prouvée que pour des processus de décisions de Markov. Dans ce cas, il est possible d'utiliser des algorithmes classiques d'apprentissage par renforcement où l'état du système est une composition des états de tous les agents et qu'une action est une action conjointe composée de toutes les actions individuelles de chacun des agents. Cependant, le nombre d'états et d'actions dans une vision centralisée du problème peut devenir rapidement trop grand pour que des techniques d'apprentissage par renforcement puissent être utilisées. Une vision décentralisée pourrait alors apparaître comme une solution, mais comme l'environnement est partiellement observable par les agents, ils ne peuvent connaître l'état global du système. Par conséquent, un tel problème est classé comme un modèle de décision de Markov partiellement observable mais rencontre également des difficultés à être utilisé lorsqu'il y a plus de 100 états [DUT00].

Un nombre important de méthodes en AR a été développé pour résoudre certains types de problèmes, comme l'attribution de récompenses. L'une des méthodes les plus exploitées

est celle du **Q-learning**.

Le Q-learning

Principes de base Le Q-learning, proposé et développé en 1989 par Watkins [WAT89], est un algorithme d'apprentissage par renforcement non supervisé. Cela signifie qu'il s'agit d'une technique informatique visant à créer un « agent logiciel » capable de contrôler de façon (quasi) optimale un certain système.

Le Q-learning est une forme primitive d'apprentissage où l'agent teste une action à un état particulier et évalue ses conséquences en termes de récompenses immédiates ou de pénalités qu'il reçoit de l'environnement. Autrement dit, la Q-valeur est la récompense escomptée pour l'action « a » à l'état « x » et en suivant une stratégie s. L'objectif du Q-learning est d'estimer les Q-valeurs pour une stratégie optimale :

$$Q(x(t),a(t)) = \sum_{j=0}^{\infty} \gamma^j r(t+j) \quad (3.1)$$

avec :

t = Temps à l'instant t;

γ = Facteur d'ajustement de l'importance des actions dans le temps. Il est compris entre 0 et 1;

r(t) = Renforcement reçu au temps t.

Il est également possible d'estimer un état, comme la meilleure valeur de l'action dans cet état (qui correspond à l'utilité) :

$$U(x) = \max_x Q(x,a) \quad (3.2)$$

L'algorithme d'apprentissage, s'exécute en créant un tableau bi-dimensionnel des Q-valeurs indexées par les actions et les « *inputs* » et en ajustant dans le tableau les valeurs basées sur les actions prises et les renforcements reçus.

Trois fonctions principales participent au Q-learning : une fonction d'évaluation, une fonction de renforcement et une fonction de mise à jour. A partir de la situation actuelle telle qu'elle est perçue par le système, la fonction d'évaluation propose une action en se basant sur la connaissance disponible au sein de la mémoire interne. Cette connaissance est stockée sous forme de valeur d'utilité associée à une paire (situation, action). L'action sélectionnée est celle qui présente la meilleure probabilité de renforcement positif (récompense). Cette proposition d'action est cependant altérée pour permettre l'exploration de l'espace des paires situation-action. Après l'exécution de l'action dans le monde réel, la fonction de renforcement utilise la nouvelle situation pour générer la valeur de renforcement. Cette valeur, par exemple un simple critère qualitatif (+1, -1 ou 0), est utilisée par la fonction de mise à jour pour ajuster la valeur (Q) associée à la paire situation-action qui vient d'être exécutée [WD92]. L'apprentissage est incrémental car l'acquisition des exemples est réalisée séquentiellement dans le monde réel.

Ce type d'algorithme est utilisé dans le modèle de Sekaran et Sen [SS94] où des agents ont des buts conflictuels et ne partagent ni leurs connaissances ni leurs résultats, mais également dans des travaux plus récents comme ceux de Park sur des robots footballeurs [PKK01].

Avantages et inconvénients de cette technique Le principal atout de cette méthode est sa facilité d'implémentation qui n'a, hélas, d'égal que la difficulté de son paramétrage.

Comme le fait remarquer Lin [LIN92] dans son article, il existe deux insuffisances majeures dans le traditionnel Q-learning développé par Watkins :

- Le Q-learning ne peut pas être appliqué de façon effective à des environnements fortement dynamiques. Une méthode d'apprentissage orientée exploration, nécessite une identification et une connaissance exacte de l'environnement pour le calcul des « Q-valeurs ». Les résultats exacts d'apprentissage deviennent alors très difficiles à obtenir moyennant un grand nombre de pas en matières d'itérations.
- Les expériences collectées par les erreurs, ne sont utilisées qu'une seule fois pour ajuster la Q-fonction. Ceci peut s'avérer fastidieux si les expériences sont coûteuses.

Comme nous pouvons le remarquer, un certain nombre d'équipes de recherche s'intéresse au déploiement et à l'enrichissement de ce type d'apprentissage (AR et Q-Learning) dans les systèmes multi-agents puisqu'il s'agit d'une méthode donnant, à l'heure actuelle, de bons résultats en apprentissage mais qui ne dispose pas encore de cadre formel définitif.

3.2.3 Apprentissage par explications, Programmation logique inductive et Raisonnement à partir de cas

Bien que se soient des techniques autonomes et basées sur les connaissances, l'apprentissage par explications, la programmation logique inductive et le raisonnement à partir de cas font également leur apparition dans l'apprentissage au sein des SMA [MR94]. Nous allons donc, à présent, nous intéresser à ces trois méthodes.

Apprentissage par explications

Principes de base Les méthodes d'apprentissage fondées sur l'explication (*Explanation Based Methods* - EBL) [MT93] utilisent des connaissances préexistantes et un raisonnement déductif pour augmenter l'information fournie par des ensembles d'exemples. Ces méthodes sont connues sous le nom d'apprentissage par analyse (*Analytical Learning*) [MIT97].

De manière simplifiée, l'EBL est une méthode déductive qui consiste à généraliser des informations tirées d'observations spécifiques [MKKC86]. La méthode EBL utilise les connaissances préexistantes pour analyser, ou expliquer, comment chaque exemple observé lors de l'apprentissage satisfait les concepts existants. Puis, cette explication est utilisée pour différencier les attributs pertinents de l'exemple d'apprentissage de ceux qui ne le sont pas. De cette façon, l'exemple peut être généralisé par un raisonnement logique, à la place des raisonnements statistiques souvent utilisés par les autres méthodes. Ce type de méthode sert donc à améliorer les performances du système, grâce à des traitements qui rendent l'utilisation des connaissances plus efficace. Les méthodes d'apprentissage fondées sur l'explication considèrent que les connaissances préexistantes sont à la fois correctes et complètes.

Avantages et inconvénients de cette technique L'un des gros avantages des systèmes EBL est de combiner les aspects inductifs et déductifs pour apprendre des concepts,

qui sont à la fois des généralisations des exemples qui leur sont soumis, et des spécialisations des concepts qu'ils connaissent déjà. De plus, ils sont capables de produire des représentations structurées et il est possible d'engendrer de nouveaux objets qui entretiennent un rapport connu avec un objet donné. Enfin, comme tous les mécanismes déductifs, ils ont besoin d'un seul exemple pour l'apprentissage puisqu'ils produisent une généralisation des concepts clés à partir de cela.

Par contre, l'un des principaux inconvénients intrinsèque à cette technique est qu'elle nécessite des connaissances complètes ce qui peut s'avérer long et fastidieux à obtenir en fonction de l'exemple traité.

Programmation logique inductive

Principes de base La programmation logique inductive (ILP en anglais pour *Inductive Logic Programming*) est un domaine d'apprentissage inductif qui combine les principes de la programmation logique et du machine learning [KK01]. Elle est utilisée pour produire (inférer) des règles générales ou hypothèses (sous forme de clauses de Horn) expliquant un concept à partir d'exemples et de contre-exemples de ce concept et d'un ensemble d'informations préexistantes appelé *background knowledge*. Les règles sont obtenues par généralisation des exemples ; les contre-exemples servent à empêcher une généralisation excessive en vérifiant que les règles produites n'en recouvrent aucun (ou très peu, un peu de bruit pouvant être autorisé). L'ensemble des exemples positifs est traditionnellement noté $E+$, l'ensemble des contre-exemples ou exemples négatifs $E-$ et le background knowledge B . L'ILP cherche à induire un classifieur sous la forme d'un ensemble d'hypothèses H . Par exemple, un programme de type ILP à qui l'on présente deux instances du concept MIGNON, l'un qui est un chat en peluche, l'autre qui est un petit chien en peluche, pourra former la moins générale des généralisations, à savoir qu'un moyen d'être MIGNON est d'être un petit animal en peluche. Pour parvenir à ce résultat, le programme utilise une connaissance d'arrière-plan qui lui dit que chiens et chats sont des animaux, et qu'un chat est petit (sans cette connaissance d'arrière-plan, la conclusion aurait été que toute peluche est mignonne, ce qui est excessivement général).

Contrairement à l'EBL, les méthodes ILP calculent une hypothèse non seulement grâce aux connaissances et aux erreurs acquises au cours du temps mais aussi en prenant en compte des données initialement inconnues comme le comportement d'un autre agent. Cette technique a déjà été appliquée dans un certain nombre de travaux comme ceux de Reid [RR00] sur l'amélioration de la technique d'apprentissage par renforcement hiérarchique ou de Matsui [MIS00] avec le tournoi de robots footballeurs.

Alonso, quant à lui, tente de combiner les deux méthodes afin d'obtenir des résultats plus performants dans des systèmes multi-agents dynamiques et complexes [AK00].

Avantages et inconvénients de cette technique L'avantage majeur de l'ILP est de permettre l'apprentissage à partir d'exemples relationnels (c'est-à-dire qu'on ne peut pas décrire par un ensemble de couples attribut-valeur) ainsi que l'apprentissage de concepts relationnels, usuellement exprimés en Prolog. C'est cette expressivité à la fois en entrée et en sortie du processus d'apprentissage qui rend cette technique très adaptée pour traiter certains problèmes difficilement exprimables hors de ce cadre relationnel.

Par contre, cette approche supervisée présente l'inconvénient de nécessiter la construction d'un jeu d'exemples et de contre-exemples propres au problème à traiter et cette phase peut s'avérer parfois longue et coûteuse. De plus, l'espace de recherche, bien que restreint

par les contraintes exprimées à travers le langage d'hypothèses, est en général très vaste voir infini et nécessite donc la définition d'un bon raffinement dès le départ.

Raisonnement à partir de cas

Le raisonnement à partir de cas (CBR en anglais pour *Case Based Reasoning*) recouvre un ensemble de méthodes de résolution de problèmes qui exploite les expériences passées, plutôt que les connaissances générales d'un niveau supérieur, telles que les règles de production. Les CBR sont des méthodes d'apprentissage totalement fondées sur les connaissances empiriques, au lieu de faire usage des connaissances théoriques d'un domaine.

Principes de base Un système CBR est capable d'utiliser la connaissance spécifique contenue dans son expérience passée pour résoudre les nouveaux problèmes. Cette expérience est représentée normalement sous la forme de cas. Ces cas, qui ont été corrigés et assignés par l'expert aux classes auxquelles ils appartiennent, constituent ainsi la mémoire d'un système CBR.

Lorsqu'un nouveau problème est présenté à un système CBR, celui-ci va, dans un premier temps, se rappeler les cas passés stockés dans sa mémoire et qui sont similaires au problème courant. Puis, dans un second temps, le système adapte la meilleure solution mémorisée et la transfère au problème actuel. Le cas nouveau, qui est traité par le système et reconnu, peut être à son tour mémorisé et donc ajouté comme une nouvelle expérience du système [KOL93], [MAL96].

En général, un système de raisonnement fondé sur des cas contient les phases suivantes :

- Remémoration des cas les plus similaires par rapport au cas posé en question;
- Réutilisation de la connaissance du (ou des) cas mémoré(s) pour la résolution du problème;
- Révision de la solution donnée afin de la valider;
- Mémorisation de ce nouveau cas pour une utilisation future.

Avantages et inconvénients de cette technique L'un des principaux avantages d'une telle approche est le traitement assez simple des cas particuliers et des exceptions, ce qui est loin d'être évident pour un système d'apprentissage inductif ordinaire.

Par contre, les inconvénients liés à cette technique sont nombreux comme nous pouvons le constater. Premièrement, les CBR sont des systèmes purement fondés sur les connaissances empiriques et ne permettent pas l'utilisation de connaissances théoriques. Par conséquent, il n'est pas possible de profiter des connaissances disponibles sur le domaine d'application sauf si celles-ci sont représentées par des cas pratiques. Toutefois, la littérature présente des méthodes alternatives qui permettent de contourner ce problème d'une manière assez simpliste puisqu'il suffit de transformer les règles symboliques en exemples qui les représentent (prototypes des concepts théoriques) [ORS95]. Deuxièmement, ces systèmes possèdent la particularité d'utiliser une fonction de similarité afin de retrouver rapidement les exemples les plus proches du cas traité. Pour cela, l'utilisation de la méthode des « K Plus Proches Voisins » (K-PPV ou *K-Nearest-Neighbor*), avec une mesure de similarité fondée sur la distance euclidienne est préconisée. Cependant, bien que ce type de mesure soit bien adapté aux variables quantitatives, il semble se heurter à des difficultés lorsque les variables sont qualitatives (comment mesurer la distance entre la couleur bleue et la couleur jaune?). Troisièmement, les CBR font appel à des algorithmes

d'apprentissage dits paresseux (*lazy learning*). Ils diffèrent des autres algorithmes par le fait qu'ils retardent le traitement des informations, c'est à dire qu'ils ont un faible coût calculatoire pendant la phase d'apprentissage et des calculs plus intenses pendant la phase de test (reconnaissance, *recall*). Quatrièmement, ce type de système n'est pas très performant en ce qui concerne l'explication de la solution trouvée puisqu'au mieux il donnera la liste des cas les plus semblables au cas présenté sans faire une analyse plus profonde de la solution proposée. Enfin, un problème de saturation au niveau de la base de cas peut rapidement apparaître si l'exemple traité est trop complexe (*i.e.* Trop de nouveaux cas à enregistrer en peu de temps).

3.2.4 Les algorithmes génétiques

L'utilisation des algorithmes génétiques (AG) s'est largement accrue en Intelligence Artificielle Distribuée et est devenue une méthode d'apprentissage reconnue dans ce domaine. En effet, de nombreux travaux utilisent encore cette méthode (comme Katara dans son étude portant sur la modélisation de l'augmentation des microbes [KV01]) et tentent même de l'améliorer [HG02]. Nous allons donc donner quelques informations supplémentaires sur cette méthode.

Principes de base

La notion d'algorithme génétique a été introduite par John H. Holland en 1975 [HOL75] et s'est considérablement développée au cours des années 80. L'AG s'inspire directement du principe de l'évolution des espèces décrit par Darwin et se fonde ainsi sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Ces algorithmes utilisent à la fois les principes de survie des structures les mieux adaptées, et de modification pseudo aléatoire d'informations, pour former un algorithme d'exploration qui possède des caractéristiques intéressantes.

Le principe de l'algorithme est simple et repose sur un codage des problèmes et de leurs solutions sous la forme de chaînes d'éléments de base. Les chaînes peuvent être rompues entre chaque élément de base, à l'image des chromosomes, qui eux constituent de véritables listes de caractéristiques d'un individu. Le codage prend habituellement la forme d'une chaîne binaire très structurée, de longueur fixe ou variable selon le type de problème.

Les algorithmes génétiques fonctionnent par une génération successive d'individus. L'ensemble des individus d'une génération s'appelle une **population**. Un **individu** est une entité contenant des gènes. **Les gènes** contiennent les paramètres permettant d'évaluer une fonction. La fonction d'évaluation s'appelle le **fitness**. Les AG génèrent une recherche de maximum sur cette fonction. La pertinence des paramètres (des gènes) est donc proportionnelle à la fonction (dans le cas d'un problème de recherche d'un minimum, il suffit de prendre l'inverse du résultat). Par conséquent, plus le fitness est élevé, plus les gènes correspondants sont pertinents.

Pour chaque génération, trois phases sont exécutées :

- La **reproduction** qui consiste à dupliquer un individu dans la population, donc à copier ses caractéristiques, c'est-à-dire ses gènes,
- L'**hybridation** (ou *crossover*) qui recombine deux individus parents en produisant deux nouveaux individus qui héritent des caractéristiques parentales,
- La **mutation** qui est une altération aléatoire des gènes d'un individu.

Le cycle d'activation d'un algorithme génétique peut donc se décomposer comme suit :

1. Evaluation des individus d'après leurs caractéristiques,
2. Reproduction des individus par sélection aléatoire pondérée en fonction de la valeur obtenue en 1,
3. Hybridation entre individus de la nouvelle génération,
4. Application de mutations aléatoires.

Il est toutefois possible de combiner les étapes 2, 3 et 4 en une seule. Le mécanisme de reproduction est alors, comme dans la nature, responsable de l'hybridation (par saut de chromosomes) et de la mutation (par erreur de copie).

Avantages et inconvénients de cette technique

Les principaux avantages de ces algorithmes sont que leur fonctionnement est très simple à appliquer, qu'ils sont plutôt rapides et performants. De plus, ils n'exigent aucune connaissance sur la manière dont résoudre le problème puisqu'il est seulement nécessaire de pouvoir évaluer la qualité d'une solution. Enfin, ils présentent à la fois des capacités de robustesse et d'adaptation, c'est à dire qu'ils ont la capacité d'évoluer dans le but d'une recherche satisfaisante mais sont aussi capable d'être attirés par des solutions et d'y rester.

Même si les algorithmes génétiques se présentent comme une approche très intéressante, le manque d'une garantie de convergence vers une bonne solution est l'un des désavantages de ces techniques. Ce sont également des algorithmes très lourds à exécuter (du fait de la nécessité de connaître les forces assignées à tous les agents du système), d'où l'intérêt d'exploiter le parallélisme dans ce type d'approche. Il reste à souligner que la majorité des AG sont des approches manipulant des informations symboliques ce qui rend plus difficile le travail avec des variables continues et des données approximatives. C'est le type de représentation des règles symboliques qui va définir le pouvoir d'un tel algorithme d'apprentissage.

D'autres techniques (comme les réseaux de neurones, les stratégies évolutionnaires...) sont, bien entendu, utilisées pour optimiser l'apprentissage individuel et collectif dans les SMA mais font l'objet de recherches un peu plus modestes comparées à celles présentées précédemment.

Ayant vu de manière un peu plus détaillée chacune de ces méthodes, nous allons, dans le paragraphe suivant, dégager des comparaisons entre celles-ci et apporter une discussion qui nous permettra de révéler notre point de vue sur l'apprentissage.

3.2.5 Discussion sur l'apprentissage en SMA

Toutes les algorithmes d'apprentissage évoquées précédemment ont certaines caractéristiques plus ou moins intéressantes en fonction du problème à résoudre. Cependant, trois caractéristiques importantes se retrouvent et sont primordiales lorsque nous évoquons la notion d'apprentissage dans les SMA :

- **L'environnement.** L'environnement dans lequel évolue les agents est-il dynamique ou statique? Les agents ont-ils une connaissance partielle ou totale de leur environnement?

- Les **caractéristiques** des agents. Les agents sont-ils statiques ou dynamiques? Sont-ils indépendants les uns des autres? Ont-ils les mêmes modèles de comportement?
- La **communication** entre agents. Les agents communiquent-ils pendant le processus d'apprentissage? Si oui, quelles informations sont échangées et quand sont-elles échangées?

Nous allons reprendre ces points de manière un peu plus détaillée.

L'environnement

Concernant les caractéristiques de l'environnement dans lequel se situent les agents lors de l'apprentissage, nous allons énumérer un certain nombre de questions qu'il est utile de se poser lors du choix de l'algorithme d'apprentissage [NO01] :

- **Caractère dynamique** de l'environnement. L'agent se situe-t-il dans un environnement dynamique ou statique? Dans quel style d'environnement l'algorithme d'apprentissage peut-il être utilisé? Si, nous prenons l'apprentissage par renforcement, il peut parfaitement être utilisé dans le cadre d'un environnement statique et dynamique puisqu'il se base lui-même sur une programmation dite dynamique.
- **Connaissances** de l'environnement. L'agent a-t-il une vision globale ou partielle de son environnement? La majorité des méthodes en apprentissage suppose que l'agent n'ait qu'une vision partielle de son environnement c'est à dire qu'il ne connaisse pas toutes les informations relatives à celui-ci (la position de tous les agents, leur buts...). Cependant, il va de soit, que dans la majorité des cas, considérer l'environnement dans sa globalité peut s'avérer difficile à obtenir et à gérer.
- **Caractère incertain** de l'environnement. L'agent se trouve-t-il dans un environnement incertain? En d'autres termes, est-ce que les actions sur l'environnement sont déterministes (lorsqu'un environnement est dans un certain état, change-t-il toujours d'état lorsqu'une action est effectuée)? Comment se comportent alors les algorithmes d'apprentissage dans ce cas-ci?
- **Connaissances pré-requises**. Certaines connaissances sont-elles nécessaires avant le début de l'apprentissage? Tout agent peut-il apprendre facilement sans pré-requis?
- **Apprentissage en ligne**. L'apprentissage « *off-line* » est-il autorisé? Tout le processus d'apprentissage doit-il être fait lorsque l'environnement est actif (en d'autres termes, cela affecte-t-il directement l'utilisateur)?
- **Retour arrière**. La repercussion de l'apprentissage est-elle immédiate sur l'environnement? L'algorithme peut-il évaluer la qualité de cette repercussion?

Les caractéristiques des agents

Là encore, nous pouvons nous poser un certain nombre de questions :

- **Caractère dynamique** des agents. Les agents sont-ils plutôt statiques ou dynamiques lors de l'apprentissage? L'apprentissage leur permet-il d'évoluer? Si oui, de quelle manière? Les agents s'adaptent-ils facilement à chaque changement de situation?
- **Autonomie** des agents. Les agents sont-ils autonomes les uns vis à vis des autres? L'apprentissage influence-t-il tous les agents? Les agents doivent-ils travailler de façon coopérative pour optimiser l'apprentissage?

- **Modèles** des autres agents. Chaque agent est-il construit selon un modèle particulier? En effet, ceci peut s'avérer intéressant si ces modèles permettent de prédire quelle action sera effectuée par quel agent et agir ainsi en conséquence pour conserver une certaine coordination. Il va de soit qu'un nombre trop important de modèles peut s'avérer coûteux à mettre en place.

La communication entre agents

La communication est une notion clé dans la problématique de l'apprentissage en SMA. En effet, la question se pose souvent de savoir quelles informations doivent être échangées durant un processus d'apprentissage. Pour cela, deux autres questions sont sous entendues : avec qui communiquer et à quel moment? L'une des possibilités d'utilisation de la communication lors de l'apprentissage est la transmission de chaque agent aux autres agents de sa vue partielle de l'environnement afin de se construire par la suite une vision complète de la problématique. L'échange d'informations reste tout de même assez restreint et pas très utilisé par la suite.

Le cas de non-communication entre agents lors d'un processus d'apprentissage, se passant seulement par observation des autres agents et de l'environnement, est également intéressant puisqu'il peut être mis plus facilement en place dans des situations complexes ou lorsque les agents sont dotés de capacités plus simples (comme les agents réactifs). Bien entendu, il s'agit d'une solution employée dans le cadre de problèmes simples où les informations à recueillir par l'agent apprenant ne contiennent pas de schémas complexes pour prévoir des comportements futurs.

Comme nous pouvons le constater, la prise en compte de la communication dans un processus d'apprentissage multi-agents reste un concept important où de nombreuses solutions peuvent être proposées. Nous garderons cette remarque à l'esprit pour la suite de nos travaux puisqu'elle nous servira de « fil conducteur » lors de notre future démarche.

3.2.6 Conclusion

En conclusion de cette section, nous pouvons dire que nous avons réalisé un rapide tour d'horizon des techniques d'apprentissage utilisées actuellement dans le domaine multi-agents ainsi que leurs avantages et limites prédominants. La principale similitude qui ressort de toutes ces méthodes est qu'elles sont spécifiques à une situation donnée à un moment donné puisqu'elles ne sont utilisables que si l'agent rencontre une situation identique dans le futur.

Nous avons également vu que certaines caractéristiques sont à garder en mémoire lors de la construction d'une méthode particulière d'apprentissage et que parmi celles-ci, la communication reste un domaine peu exploité. Or, nous pensons qu'il s'agit d'un aspect à améliorer et sur lequel des techniques issues d'autres disciplines (comme la psychologie) peuvent être appliquées. C'est pour cette principale raison que nous avons décidé de fonder tout notre processus d'apprentissage sur la communication entre agents comme nous le démontrerons dans la partie suivante. Pour le moment, nous allons justement nous intéresser à cette notion de communication dans les SMA et allons voir comment elle est abordée et sur quels langages elle repose.

3.3 La communication dans les SMA

3.3.1 Introduction

Si pour les êtres humains la communication est considérée comme un système permettant la transmission d'une information ou d'un point de vue, les choses sont quelque peu différentes en communauté virtuelle. En effet, en ce qui concerne les systèmes multi-agents, la communication octroie aux agents la possibilité de s'envoyer, de recevoir des messages et de les comprendre. Pour cela, l'environnement offre une infrastructure particulièrement intéressante puisqu'il développe des mécanismes d'interactions (qui concèdent l'occasion d'avoir des échanges structurés de messages) et des protocoles de communication (qui permettent d'échanger et de comprendre les messages) utiles aux agents. Les objectifs principaux de cette communication sont, bien entendu, de coordonner les actions (soit en coopérant lorsqu'il s'agit d'agents non antagonistes soit en négociant lorsqu'il est question d'agents compétitifs ou indépendants) et les comportements entre tous les agents, d'essayer de modifier leurs états internes ou de persuader les autres de faire certaines actions. Pour coordonner l'activité d'un ensemble hétérogène d'agents autonomes, il faut que les agents communiquent dans un langage compréhensible par tous les autres et doivent pour cela respecter des contraintes au niveau :

- **Syntaxique** : en précisant le mode de structuration des symboles;
- **Pragmatique** : pour pouvoir interpréter les symboles;
- et **Sémantique** : pour comprendre ce que les symboles représentent.

La compréhension du sens des symboles, ou à quoi les symboles font référence, demande un standard rigoureux de la sémantique et de la pragmatique. De plus il est nécessaire que les agents sachent bien utiliser le vocabulaire pour atteindre leurs buts, éviter les conflits, coopérer pour exécuter leurs tâches et modifier l'état mental d'un autre agent. Cette section se divise en trois sous-parties : la première s'attache à décrire rapidement quelques langages de communication, la deuxième s'intéresse plus particulièrement à la notion d'ontologie, et la troisième sert de conclusion et expose notre opinion sur ce sujet.

3.3.2 Quelques langages de communication...

Un Langage de Communication Agent (ACL de l'anglais *Agent Communication Language*) doit être conçu comme un langage de haut niveau qui assure en premier lieu l'échange d'états mentaux et le sens du vocabulaire. Le format utilisé pour l'échange des connaissances est donné par un langage de contenu, indépendant du langage ACL. Le vocabulaire commun concerne les définitions précisées dans une **ontologie** (notion que nous expliquerons dans la sous-section suivante). Les aspects techniques d'implantation d'un ACL concernent l'existence dans le système de communication entre les agents des mécanismes ci-dessous :

- Des protocoles pour la couche de transport utilisé (TCP/IP, SMTP, HTTP)
- Des protocoles de haut niveau (contract-net...)
- Des services d'infrastructure (broker...)
- Un mécanisme de contrôle de la communication au sein des agents.

Les échanges d'information peuvent être faits par :

- Messages (point à point, diffusion, synchrone ou asynchrone)
- Mémoire partagée (tableaux noirs)

Cependant, tout protocole de communication (point-a-point, multicast ou broadcast) est représenté par une structure de données qui contient les champs suivants :

- Un émetteur
- Un (ou des) récepteur(s)
- Un langage utilisé dans le protocole
- Des fonctions d'encodage ou de décodage
- Des actions à faire par le(s) récepteur(s)

Concernant l'évolution des langages de communication, une tendance à assurer un partage d'information de plus en plus complexe se dégage. En effet, ce partage a commencé au niveau des objets, puis a concerné les connaissances (faits, règles, procédures de traitement des connaissances) pour arriver aujourd'hui au niveau des états mentaux (croyances, désirs, intentions). Ainsi, depuis plusieurs années, la communication dans les SMA cherche à s'inspirer des phénomènes de communication humains. En se basant sur le formalisme des actes de langages [SEA69], [VAN88], des langages d'interactions ont été développés tels que KQML et FIPA-ACL. Nous allons donc présenter brièvement ces différents langages.

Les actes de langages

L'idée est ici d'utiliser ce que l'on apprend du dialogue entre humains [SEA69], [AUS60] (dont nous avons déjà parlé dans le chapitre précédent dans la section consacrée au langage) comme modèle pour la communication entre agents. On parle, dans ce cas, d'actes de langages, comme étant l'ensemble des actions intentionnelles effectuées au cours d'une communication.

Un acte de langage revêt trois aspects :

- **Les actes locutoires** : qui sont accomplis lorsque l'on formule correctement un énoncé
- **Les actes illocutoires** : qui expriment une intention du locuteur (performatifs)
- **Les actes perlocutoires** : qui expriment les effets sur l'allocutaire visé par les actes locutoires et illocutoires.

Exemple. Jacqueline dit à Paul : « Tu dois fermer la porte ». Dans cet acte de langage, Jacqueline émet des sons (composante *locutoire*); elle considère ce message comme un ordre (composante *illocutoire*) et enfin, si tout se passe comme prévu, Paul ferme la porte (composante *perlocutoire*).

On appelle *performatifs*, des verbes qui permettent d'identifier dans une communication, la force locutoire correspondante. Austin [AUS60] les a classés dans les catégories suivantes :

- Verdictifs (acquitter, condamner, prononcer, décréter, classer, évoluer...)
- Exercitifs (commander, dégrader, ordonner, léguer, pardonner...)
- Promissifs (promettre, faire voeu de, garantir, parier, jurer de...)
- Comportatifs (s'excuser, remercier, déplorer, critique, braver...)
- Expositifs (affirmer, conclure, nier, postuler, remarquer...)

Les performatifs servent précisément à définir les différents types d'actes de langage que peuvent émettre et interpréter les agents sans ambiguïté.

Nous avons donc vu, de manière succincte, les principaux aspects des actes de langage. Pour des informations plus détaillées sur ce sujet, nous invitons le lecteur à se reporter au livre de Searle dont nous avons parlé tout au long de cette sous-section et qui passe

en revue tous ces actes de façon détaillée. Pour le moment, nous allons nous intéresser à d'autres langages d'interactions tels que le KQML.

Les langages KQML et FIPA-ACL

Knowledge Query and Manipulation Language (KQML) [LF97] est un langage dont le principe est de séparer la sémantique liée au protocole de communication (indépendante du domaine d'application), de celle liée au contenu des messages (dépendante du domaine d'application). Le protocole de communication doit donc être universel (pour tous les types d'agents), concis et constitué d'un nombre restreint de primitives de communication. Ce langage est fondé sur la théorie des actes de langage dans le but de permettre aux agents cognitifs de coopérer. Il est basé sur le fait de pouvoir coder explicitement dans les messages des actes illocutoires en terme de type de message ou « performatives » et repose sur les états mentaux des agents. Le contenu du message échangé est une expression spécifiée en KIF (*Knowledge Interchange Format*) qui utilise le formalisme de la logique de premier ordre. Conceptuellement, trois couches dans un message de KQML peuvent être identifiées :

- **La couche « contenu »** comporte l'ensemble réel du message utilisant un langage de représentation propre au système.
- **La couche de « communication »** code un ensemble de dispositifs au message qui décrivent les paramètres de communication les plus bas, tels que l'identité de l'expéditeur et du destinataire et un identifiant unique associé à la communication.
- **La couche « message »**, qui code un message qu'une application voudrait transmettre à une autre, est le noyau de KQML. Cette couche détermine les genres d'interactions au sein des agents dialoguant via KQML. La fonction de la couche message est d'identifier l'acte du langage ou la performative que l'expéditeur attache au contenu.

La syntaxe utilisée est celle du Lisp et les arguments peuvent être donnés dans n'importe quel ordre.

Nous ne rentrerons pas dans le détail de la structuration de ces messages puisque ce n'est pas l'objectif principal de cette thèse et qu'un certain nombre d'auteurs s'intéresse déjà à ce sujet [CFF⁺92], [FFMM94], [LF94].

Récemment, la collaboration internationale des membres d'organisations universitaires et industrielles regroupées au sein de FIPA (***Foundation for Intelligent Physical Agents***) a permis de spécifier des standards dans la technologie agent et vise à favoriser l'interopérabilité des applications, des services et des équipements informatiques basés sur le paradigme agent. Ils ont défini un certain nombre de spécifications principales d'agents. Notamment, un standard de langage de communication agent ACL (***Agent Communication Language***) [fIPA97] a été proposé et spécifié.

Fondé sur le KQML (excepté au niveau des noms des primitives de communication), ce langage s'appuie sur la définition de deux ensembles :

- Un ensemble d'actes de communication primitifs, auquel s'ajoutent les autres actes de communication pouvant être obtenus par la composition des ces actes de base;
- Un ensemble de messages prédéfinis que tous les agents peuvent comprendre.

FIPA-ACL possède 21 actes communicatifs, exprimés par des performatives, qui peuvent être groupés selon leur fonctionnalité de la façon suivante :

- Passage d'information : inform, inform-if, inform-ref (macro act), confirm, discon-

- firm
- Réquisition d'information : query-if, query-ref, subscribe
- Négociation : accept-proposal, cfp, propose, reject-proposal
- Distribution de tâches (ou exécution d'une action) : request, request-when, request-whensoever, agree, cancel, refuse
- Manipulation des erreurs : failure, not-understood

Basé sur les actes de langage, ACL se présente généralement de la façon décrite dans la figure 3.3 :

```
(INFORM      : SENDER      Agent1
              : RECEIVER   Agent2
              : CONTENT    (price good2 150)
              : IN-REPLY-TO round-1
              : LANGUAGE   s1
              : ONTOLOGY   hp-auction
              : REPLY-BY   10
              : PROTOCOL   offer
              : CONVERSATION-ID conv-1
              )
```

FIG. 3.3 – Exemple de langage ACL

Plusieurs efforts d'implémentation de ce langage sont fait régulièrement et chaque élément nouveau ajouté ou modifié peut-être consulté en ligne sur le site de la FIPA (<http://www.fipa.org>).

Les spécifications des langages FIPA-ACL et de KQML n'imposent aucune condition sur le langage de programmation ni sur la plate-forme utilisée pour l'implantation, pour autant que l'implantation soit conforme aux spécifications du langage.

Comme pour KQML, nous ne nous attarderons pas plus sur ce langage puisque différents articles traitent précisément de ce sujet : [GK94], [LFP99], [CDD02].

Conclusion

Nous avons présenté rapidement les langages les plus utilisés dans les systèmes multi-agents et avons vu comment ils se structurent. Nous retiendrons simplement, pour la suite de nos travaux, que les messages échangés entre nos agents sont formatés comme des messages KQML (avec, cependant, quelques spécificités particulières que nous développerons dans la partie 3) afin d'être plus facilement exploitables lors de chacune de nos étapes.

Au cours de la présentation de ces « langages artificiels », nous avons évoqué la notion d'*ontologie* sans pour autant la développer. Cette dernière occupant une place importante dans la communauté SMA, nous allons tenter d'en donner une explication précise dans la sous-section suivante, bien qu'il n'existe pas réellement de consensus dans ce domaine.

3.3.3 La notion d'ontologie

Si l'on s'en réfère à l'étymologie, l'ontologie (qui vient de « *ontos* » qui signifie être et « *logos* » équivalent à science, langage) s'intéresse à la science de l'être en tant qu'être,

indépendamment de ses manifestations particulières. Cependant, dans son acception actuelle et dans le cadre des SMA, cette notion a une signification différente puisqu'elle désigne l'ensemble des connaissances relatives à un domaine : objets, concepts, relations et propriétés ; ainsi que les termes les dénotant [ROC03]. Mais, comme nous pouvons nous en douter, il est très difficile de trouver des explications claires et uniques de ce terme au sein de la communauté, comme l'écrivait Gruber en 1995 [GRU95] : « *although ontology is currently a fashionable term, no agreement exists on the exact meaning of the term and it seems to generate a lot of controversy in discussion about AI* ». Il est tout de même possible de convenir de certaines spécificités telles que la clarté, la cohérence et l'extensibilité puisque l'objectif principal d'une ontologie est le partage et l'interopérabilité entre des agents partageant un niveau conceptuel donné [GRU93].

Nous allons donc essayer, dans un premier temps, d'étudier les définitions que nous pouvons rencontrer et celle que nous avons décidé d'adopter. Puis, dans un second temps, nous nous intéresserons aux différents langages qui sont utilisés pour programmer ces ontologies.

Définitions rencontrées

Si l'on regarde la définition donnée par le petit Larousse [LAR00], on s'aperçoit qu'elle se rapproche très précisément de l'étymologie de ce mot puisqu'elle désigne l'ontologie comme étant « *la spéculation sur l'être en tant qu'être, sur l'être en soi* ». Cependant, plus on se rapproche du domaine de l'Intelligence Artificielle et des SMA en particulier, et plus des précisions sont données.

Christophe Roche [ROC03], par exemple, perçoit une ontologie comme « *une conceptualisation d'un domaine à laquelle sont associés un ou plusieurs vocabulaires de termes. Les concepts se structurent en un système et participent à la signification des termes. Une ontologie est définie pour un objectif donné et exprime un point de vue partagé par une communauté. Une ontologie s'exprime dans un langage (représentation) qui repose sur une théorie (sémantique) garante des propriétés de l'ontologie en termes de consensus, cohérence, réutilisation et partage* » .

Jean Charlet précise encore plus son point de vue et propose de prendre en compte trois définitions [CHA02b] pour arriver à spécifier ce concept :

- **Définition 1** : *Une ontologie est un ensemble d'objets reconnus comme existant dans le domaine. Construire une ontologie c'est aussi décider de la manière d'être et d'exister des objets.*
- **Définition 2** : *Une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation.*
- **Définition 3** : *Une ontologie implique ou comprend une certaine vue du monde par rapport à un domaine donné. Cette vue est souvent conçue comme un ensemble de concepts -e.g. entités, attributs, processus-, leurs définitions et leurs interactions. On appelle cela une conceptualisation. Une ontologie peut prendre différentes formes mais elle inclura nécessairement un vocabulaire de termes et une spécification de leur signification. Une ontologie est une spécification rendant partiellement compte d'une conceptualisation.*

Notre point de vue sur la définition à retenir

Compte tenu des différentes spécifications que nous avons pu constater à travers ce bref état de l'art, nous avons décidé de prendre en considération le point de vue de Jean Charlet pour la suite de nos travaux. Ainsi, comme lui, nous considérons que les contraintes qui s'adressent à un concepteur sont les suivantes [CHA02b] :

- Une ontologie est bien une conceptualisation, entendons par là que l'on y définit des concepts;
- Devant être par la suite un artefact informatique dont on souhaite spécifier le comportement, l'ontologie doit également être une théorie logique pour laquelle on précise le vocabulaire manipulé;
- Enfin, la conceptualisation étant spécifiée parfois de manière très précise, une théorie logique ne peut toujours en rendre compte de façon exacte. Elle le fait donc partiellement.

Représentation d'une ontologie

Les principes de la construction d'une ontologie restent invariables : il s'agit de subsumer la diversité des étants sous l'unité des concepts hiérarchique supérieurs [RAS04]. D'où la permanence du modèle de classification des espèces, formulé par Aristote et développé par Linné. Ce modèle demeure au fondement de la théorie des réseaux sémantiques, principal substrat figuratif de la « représentation des connaissances » [RAS04]. Un réseau sémantique est donc un graphe étiqueté connexe où les nœuds du graphe sont des concepts, les arcs, (ou liens) sont étiquetés par des relations sémantiques.

La figure 3.4 montre un exemple simple de représentation d'une ontologie contenant des informations organisées de façon hiérarchique à la manière d'un arbre [MH97] :

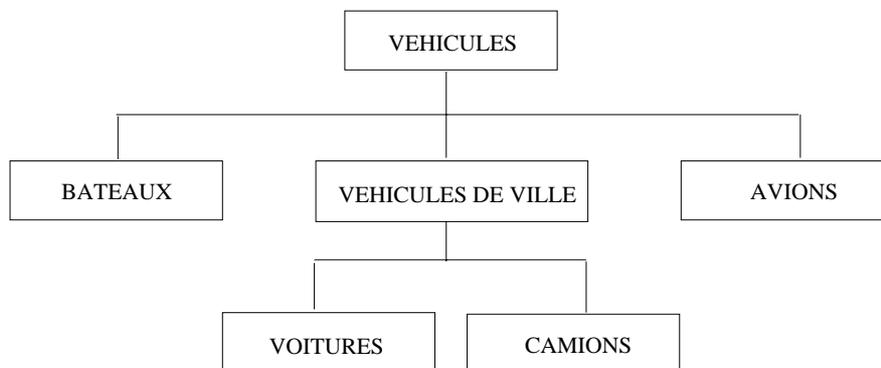


FIG. 3.4 – Exemple d'architecture d'une ontologie

Les langages de programmation

Toutes les ontologies ne sont pas construites sur le même principe et un certain nombre de langages peuvent être employés pour les représenter (allant du langage naturel pour les ontologies de haut niveau au langage logique pour des ontologies plus formelles) comme *Ontolingua*, KIF, *Frame Ontology*, OKBC, OCML, *Flogic*, LOOM, SHOE, RDF, RDFS, XOL, OIL, DAML, OWL...

Nous avons décidé de présenter rapidement trois langages particulièrement utilisés pour le Web sémantique et créés par W3C, à savoir RDF, DAML+OIL et OWL.

Resource Description Framework (RDF) RDF est un modèle, associé à une syntaxe, dont le but est de permettre à une communauté d'utilisateurs de partager les mêmes méta données pour des ressources partagées. Il a été conçu initialement par le W3C pour permettre de structurer l'information accessible sur le web et de l'indexer efficacement. RDF n'est pas particulièrement conçu pour stocker les méta données de documents mais plutôt pour permettre leur échange et leur traitement par des opérateurs humains ou artificiels. Un des gros avantages de RDF est son extensibilité, à travers l'utilisation des schémas RDF qui peuvent s'intégrer et ne s'excluent pas mutuellement grâce à l'utilisation du concept d'espace de nom (« *namespace* »).

La construction de base en RDF est le triplet (propriété, ressource, valeur), le langage de balisage XML est utilisé pour le spécifier. Tout ce qui est exprimé avec RDF est appelé une ressource (la ressource est toute entité d'information pouvant être référencée en un bloc, par un nom symbolique ou un identificateur). Les déclarations RDF définissent des relations entre des objets (*noeud d'un graphe*) qui appartient à un univers sémantique. A chacun de ces univers sémantiques correspond un domaine nominal (appelé *schéma*), identifié par un préfixe particulier.

Ne désirant pas faire une description trop détaillée de ce langage car ce n'est pas l'objet de cette thèse, nous proposons au lecteur d'aller sur le site de W3C (<http://www.w3c.org>) et lire l'article de référence [LS99] pour de plus amples renseignements techniques.

RDF est par ailleurs un des modèles de base et de syntaxe sur lequel le web sémantique se construit avec l'ajout de couches (« *layers* ») au dessus de RDF comme OIL et DAML que nous allons voir maintenant.

DARPA Agent Markup Language + Ontology Inference Layer (DAML+OIL)

DAML+OIL est un langage logique de description avec syntaxe RDF. OIL est utilisé pour définir des ontologies et DAML ajoute un petit nombre de caractéristiques au schéma RDF afin de rendre plus facile la définition de nouveaux langages permettant la communication entre agents intelligents. Il s'agit d'un modèle objet pour la classification de concepts et l'instanciation d'objet. Un concept est un ensemble d'individus, un individu étant une assertion. Il existe des rôles, c'est à dire des relations binaires entre individus, et ces rôles et concepts figurent au niveau terminologique.

Comme nous pouvons nous en douter, DAML+OIL s'appuie sur OIL et DAML mais que représente ces deux notions?

OIL (initialement développé par la communauté européenne) est un langage de description et d'inférence sur les ontologies, basé sur RDF. Il prend appui sur des logiques de description et est composé de plusieurs couches :

- le **coeur** : il correspond presque exactement avec le langage RDF Schema qui permet de décrire les vocabulaires RDF;
- **Standard OIL** : il permet de définir la sémantique de façon plus précise, et donne ainsi la possibilité d'utiliser les mécanismes d'inférence;
- **Instance OIL** : il introduit les fonctionnalités des bases de données

Le développement de DAML a commencé en août 2000 par la DARPA, avec pour but de favoriser le développement du web sémantique. En octobre de la même année, la spécification a été publiée. Tout comme OIL ou RDF Schema, il s'agit d'un langage de description d'ontologies avec lequel il est possible de définir des classes et des propriétés et les mettre en relation (subsomption, disjonction...).

Ainsi, DAML+OIL cherche à combiner toutes les caractéristiques de DAML, OIL et RDF

Schema et permet, entre autre, de modéliser des relations d'héritage entre classes, la prise en charge des collections... Plus de détails sont exposés dans le guide W3C [W3C01].

OWL Web Ontology Language OWL est un langage relativement nouveau (fin 2002) qui permet de définir des ontologies pour le web et de leur associer des bases de connaissances. Il offre la possibilité de faire des raisonnements, des inférences sur l'ontologie et des conclusions sur des faits implicites.

Une ontologie avec OWL rassemble :

- Des classes;
- Des relations taxinomiques entre classes;
- Des propriétés de type de données (c'est à dire des descriptions des attributs pour des éléments d'une classe);
- Des propriétés d'objets (c'est à dire des descriptions des relations entre éléments de classes)

Le langage OWL est composé de trois langages :

- **OWL Lite** : version d'OWL aux fonctionnalités réduites, qui fournit une classification hiérarchique et des contraintes caractéristiques;
- **OWL DL** : correspond exactement aux logiques de description. Ce langage est expressif mais les procédures d'inférences sont complètes et effectuables en un temps fini;
- **OWL Full** : donne à l'utilisateur une expressivité maximale.

OWL étant une composante des activités du web sémantique, son rôle est de rendre les ressources du web plus accessibles au moyen de processus automatiques. Dans ce but, écrire des ontologies qui peuvent être interprétées de manière non ambiguë et réutilisées par des logiciels, requiert une syntaxe formelle et de la sémantique.

Des informations plus techniques sur ce langage sont disponibles dans les ouvrages W3C [W3C02], [W3C03].

Conclusion W3C a défini plusieurs langages de description ontologiques dans le cadre de ses travaux sur le Web sémantique qui peuvent être schématisés par des couches, comme le montre le schéma 3.5 qui représente la « La pièce montée » de Berners-Lee (que l'on peut trouver sur le site Internet : <http://www.greyc.ensicaen.fr/>)

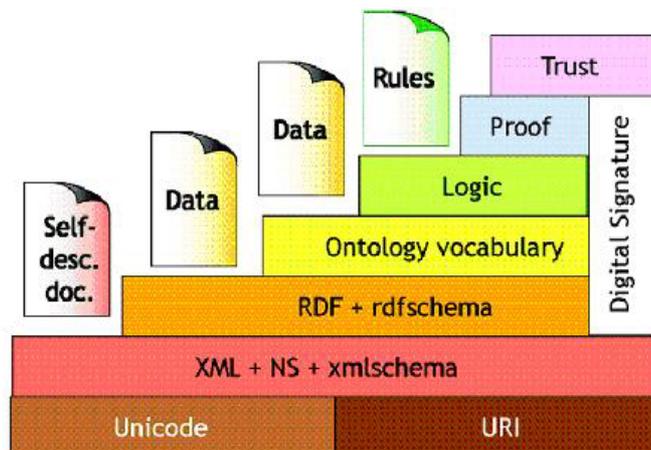


FIG. 3.5 – La pièce montée de Berners-Lee

Compte tenu de ce que nous avons vu de ces langages, il est possible de retenir que :

- RDF Schema est trop limité car il est impossible de faire des inférences ou du raisonnement;
- DAML+OIL est très complet mais quelquefois difficile à implementer selon les exemples;
- OWL est un langage qui offre de nombreuses possibilités dans bien nombre de cas et qui est de plus en plus utilisés pour le web sémantique. D'ailleurs, l'ontologie dont nous nous servons pour la suite de nos travaux a été programmée en OWL.

Conclusion

Nous avons décrit, dans cette sous section, la notion d'ontologie et avons essayé de voir ce qui se cache derrière ce vocabulaire. Nous avons ainsi pu en conclure, que l'objectif principal d'une ontologie est de permettre le partage et la réutilisation de connaissances qui ont été explicitées de façon formelle.

Les ontologies sont de plus en plus utilisées dans plusieurs domaines, comme celui des systèmes multi-agents puisqu'elles donnent l'occasion de spécifier de manière précise le sens de chaque terme employé à un moment particulier [PB04].

3.3.4 Conclusion

Dans cette section, nous avons essayé de proposer un état de l'art, assez rapide, de la façon dont est formulée la communication dans les systèmes multi-agents et les langages qui sont déployés. Il est ainsi possible d'établir, indéniablement, un certain parallèle entre la communication chez les agents et la communication humaine puisque toutes les deux servent à transférer de l'information d'un interlocuteur à un autre tout en se basant sur des méthodes bien définies (ex : les actes de langage).

Partant de ce constat, nous nous demandons s'il est possible, comme le suggère quelques psychologues, de dégager une certaine « intelligence verbale » supportée par le langage au sein d'un système multi-agents. Pour cela, nous avons décidé d'accorder un poids beaucoup plus important à la communication et aux interactions lors d'un mécanisme d'apprentissage et de ne plus considérer le langage comme « *un obstacle aux phases d'apprentissage* » [SW99]. De plus, nous avons pris le parti de faire communiquer nos agents seulement en langage naturel de telle façon à se rapprocher le plus possible de la simulation de comportements humains (nous donnerons, bien entendu, plus de détails sur ce point dans la partie 3 de cette thèse).

Au cours de chaque processus de communication, différentes situations d'interactions (comme la collaboration ou la compétition) peuvent être identifiées et affinées en décrivant certains paramètres tels que la reconnaissance des buts communs, les désirs, les croyances ou même la confiance. Et oui, comment se déroulent les échanges entre des agents si certains n'ont pas confiance en d'autres? Est-il facile de déceler un mensonge chez des agents artificiels? C'est ce que nous nous proposons de regarder maintenant.

3.4 La confiance en univers multi-agents

3.4.1 Introduction

La question de la confiance est fréquemment posée dans différents domaines de la vie et c'est sans doute parce qu'elle est en crise qu'elle fait aujourd'hui l'objet d'une attention spécifique en particulier dans le domaine économique. Même si elle est largement évoquée et analysée, cette notion reste confuse et l'établissement d'une définition cohérente reste encore à établir [HEB04]. Ainsi, la confiance peut se caractériser par un ensemble de processus, conscients ou inconscients, et représente la capacité à anticiper sur les actions de l'autre pour faire un choix qui dépasse la simple prise en compte d'un prétendu intérêt chez l'autre [LR95]. Mais il est aussi possible de trouver des définitions plus simples, comme en théorie des organisations où le concept de confiance s'associe aux concepts de coordination, de coopération et d'engagement, ou bien en marketing où la confiance est considérée comme un facteur important de la stabilité des relations d'échange fournisseurs-clients et inter-firmes [HEB04].

Face à ce phénomène, quoi de plus normal que de retrouver en Intelligence Artificielle Distribuée des systèmes multi-agents fondés sur la confiance en particulier lors de situations de risque et d'incertain [CP02].

Nous tenterons donc, dans cette section, de faire un rapide état de l'art de l'utilisation de cette notion en SMA mais resterons assez concis sur le sujet qui fait, à lui seul, l'attention de nombreux papiers ou thèses. Nous invitons donc, les lecteurs à se reporter aux différentes sources citées pour de plus amples informations et explications.

3.4.2 Steve Marsh et l'agent confiant

Steve Marsh fut le premier à utiliser explicitement l'idée de confiance dans des communautés d'agents artificiels [MAR94] en particulier dans le cadre du travail distribué entre des individus grâce à l'usage d'un réseau d'ordinateurs. La notion de confiance représente ici une façon de gérer le travail en coopération, en évitant de fixer des contraintes aux autres et à soi-même. Grâce à la surveillance mutuelle et à la mémoire des actions passées, il est possible d'associer à chaque individu, agissant dans un groupe, une probabilité de réussir certains types de tâches. Selon l'importance de la tâche et les personnes disponibles à un instant, l'ordinateur va assigner une certaine confiance en fonction des capacités de chacun (ce qui est appelé « *trustworthy* »).

Le formalisme mis en oeuvre peut très facilement s'interpréter dans un cadre plus général avec des contextes de simulation où des agents confiants (« *trusting agents* ») sont nécessaires [MAR94]. Il repose sur des principes simples inspirés en grande partie par Gambetta [GAM88] et Luhmann [LUH79] puisque la confiance de x en y :

- n'existe que par rapport à une action que x veut effectuer ou voir effectuer;
- est totalement apprise. Elle ne s'élabore que par l'observation des actions passées de y , fonctionne grâce à une série d'inférences, et concerne à la fois les compétences de y et sa bonne volonté à coopérer;
- le formalisme de la confiance prend alors la forme d'une valeur comprise entre $[-1;1[$;
- à partir de ces connaissances, reste à savoir si x veut ou non solliciter y ou accepter de l'aider. L'idée d'importance et d'utilité de l'action est alors utilisée avec une contrainte (« *cooperation threshold* »). La coopération est choisie ou non en fonction de trois critères : la confiance de l'autre (T), l'utilité pour l'agent qui demande (U)

et l'importance que cela a pour lui (I).

Compte-tenu de ces hypothèses, nous pouvons dire que la définition de la confiance trouvée dans ce domaine paraît plutôt restrictive dans la mesure où elle ne concerne que la familiarité d'un individu vis à vis d'un autre [MAR94]. De ce point de vue, le formalisme se révèle tout de même intéressant puisqu'il est employé dans différents contextes comme ceux d'une modélisation BDI [CF99] ou dans des phénomènes d'apprentissage à travers les relations [JT99], [SFR99].

3.4.3 Confiance et développement des réseaux

Le principal usage fait, en système multi-agents, de la notion de confiance est lié au développement des réseaux, comme le prouve la multiplicité des workshops et conférences organisés sur ce sujet (comme *l'International Conference on Web Intelligence*, le *workshop on Deception, Fraud and Trust in agent societies...*). En effet, l'essor des applications dans des domaines tels que le E-commerce, les Web services, le peer-to-peer poussent les concepteurs à créer des outils permettant de sécuriser l'accès aux données afin d'éviter au maximum tout acte malintentionné et malveillant.

Il est ainsi possible d'insister sur la sécurisation des accès, à travers l'attribution de codes et la cryptographie [WS99], ou par la limitation extrême des autorisations [SR99]. Cependant, même si ce genre de pratiques est tout à fait envisageable dans certaines applications, d'autres, au contraire, doivent véritablement pouvoir juger de la validité des propos d'une personne. Nous pensons, bien entendu, à des phénomènes de ventes aux enchères sur Internet comme ceux organisés sur eBay. Comment peut-on attribuer un degré de confiance à un vendeur qui établit sa première transaction (ce qui est le cas de 89% des vendeurs sur eBay [RZ00])? Il semblerait que la confiance concédée par l'acheteur au vendeur repose tout simplement sur une seule de leur transaction [RZ00]. Et en ce qui concerne le peer-to-peer, assisterait-on au même phénomène? Les travaux de Wang et Vassileva [WV03] proposent une méthode basée sur les réseaux bayésiens afin de différencier certains aspects de la confiance accordée au *provider* dans des réseaux peer-to-peer. Le calcul de leur degré de confiance se base à la fois sur la vitesse de téléchargement du fichier voulu ainsi que sa qualité finale. En fonction du résultat numérique accordé, des recommandations sont émises pour ce « *provider* ». Là encore, de nombreuses améliorations restent encore à faire sur le modèle en particulier lors de la détermination de la performance du système...

3.4.4 Modèle multi-agents de gestion de confiance

Il existe, à l'heure actuelle, un certain nombre de systèmes traitant de la confiance et reposant sur des concepts issus des systèmes multi-agents. Guillaume Muller, en propose d'ailleurs une description complète dans un de ses rapports [MUL03] et nous allons nous appuyer sur son travail pour présenter un des modèles, celui de Sabater et Sierra [SS02]. Ce modèle fait plus particulièrement référence à la notion de réputation (opinion ou vue de quelqu'un sur quelqu'un d'autre ou quelque chose) calculée par rapport à des expériences directes et à des évaluations fournies par d'autres agents. Cette réputation est représentée par une valeur comprise entre -1 et 1, où 0 est synonyme de réputation neutre. Quatre types de réputation sont calculés [MUL03] :

- La « **réputation individuelle** », elle est calculée en fonction d'une moyenne pondérée par le temps (plus une évaluation est vieille, moins elle est prise en compte);

- La « **réputation des témoins** », elle est calculée à partir d'évaluations fournies directement par des agents ayant eu une expérience directe avec la cible;
- La « **réputation de voisinage** », elle est calculée à partir des réputations que le bénéficiaire a dans les relations avec la cible;
- La « **réputation système** » est une valeur par défaut dépendant du rôle à jouer par la cible dans l'application.

La réputation est moins un concept multidimensionnel qu'une notion multifacette. Cette idée paraît très intéressante dans le sens où la réputation n'englobe pas de nombreux autres concepts mais se compose par rapport aux attributs de l'agent cible.

En conclusion, nous pouvons dire que l'utilisation conjointe de la confiance et de plusieurs formes de réputation apporte un gain significatif à l'utilisation de la confiance seule même si ces travaux ne sont, malheureusement, utilisables que dans un domaine coopératif...

3.4.5 Conclusion

Comme nous avons pu le constater à travers cette brève présentation, la notion de confiance reste encore un concept flou où les définitions se succèdent selon le point de vue que les auteurs adoptent. Cependant, une chose est certaine, il s'agit d'un domaine en proie à un fort intérêt même s'il est à regretter le manque de discussions en ce qui concerne sa représentation.

Compte-tenu de toutes ces lacunes vis à vis de cette notion dans l'univers multi-agents, nous avons pensé qu'il serait intéressant d'aller chercher en sciences sociales la manière dont est abordé ce phénomène et de voir si des éléments intéressants peuvent être dégagés et appliqués en SMA, en particulier lors de la simulation de comportements humains. Nous proposerons, dans la troisième partie de cette thèse, un modèle de confiance qui prendra, plus particulièrement en compte, la compétence d'un agent dans un domaine particulier et ses relations avec les autres. Nous nous appuyerons, pour cela, sur un modèle mathématique d'agrégation d'opinions visant à déterminer l'agent auquel nous pouvons accorder le plus de confiance.

3.5 Discussion

Ce troisième chapitre a été l'occasion d'introduire la notion de système multi-agents dont il sera fait usage dans la suite de cette thèse. Au fur et à mesure de cette présentation, nous avons précisé à quels aspects nous souhaitons nous attacher plus particulièrement, et mis en avant les problèmes qu'ils peuvent engendrer. Nous avons ainsi cherché à définir ce que nous entendons par un agent et un système multi-agents, comment ils communiquent et s'échangent des messages et surtout comment ils apprennent. Nous avons, de ce fait, compris que l'intelligence est ici, pour un agent, synonyme de capacité à conduire un comportement coopératif et rationnel dans un environnement changeant et imprévisible.

Pourquoi, finalement, avoir décidé de fonder ce mémoire sur les systèmes multi-agents? N'est-ce pas un domaine assez récent et sans véritables bases de conception qui n'est qu'une phobie passagère de quelques chercheurs en proie à de nouvelles publications? Non, nous pensons, comme la plupart des personnes de la communauté multi-agents, que l'engouement actuel pour l'IAD et les SMA s'explique par plusieurs raisons qui laissent à penser qu'il ne s'agit pas que d'un phénomène de mode mais d'une voie porteuse de nou-

veautés (heureusement, me direz-vous, car une personne qui fait une thèse sur un sujet auquel elle ne croit pas ne fait pas très crédible pour la suite!!!). En premier lieu, cela vient du fait que les systèmes d'informations actuels se développent dans des environnements distribués, à grande échelle, ouverts et hétérogènes où le contrôle de la connaissance, du raisonnement et des décisions est décentralisé. L'interconnexion devient telle qu'elle engendre des systèmes et des applications d'une complexité saisissante dépassant largement la compréhension que peut en avoir l'être humain. Plutôt que de considérer les processus informatiques comme des parties d'un système global, il faut les considérer comme des acteurs à part entière dans un système. Mais cela, ne va pas sans une multitude de difficultés (de conception ou de maintenance) auxquelles les SMA tentent d'apporter des réponses.

Une autre raison qui crédite ces approches, est qu'elles peuvent être très utiles pour expérimenter des réflexions sociologiques et psychologiques sur les modèles et théories concernant les relations entre les personnes dans une société. Et c'est principalement sur ce point que nous voulons insister tout au long de notre proposition : Comment transposer des idées des sciences sociales en Intelligence Artificielle Distribuée? Que peut apporter l'étude des sociétés humaines aux sociétés d'agents et réciproquement, comment des modélisations peuvent être perçues pour des psychologues (sans tomber dans l'extrémité de penser que tout comportement humain peut-être modélisé)?

En élaborant notre état de l'art, nous avons essayé de faire un parallèle, au niveau du plan, entre les sciences cognitives et les SMA de telle façon à montrer au lecteur que toutes les notions employées dans l'une se retrouvaient automatiquement dans l'autre. Il semble donc, que l'association de travaux provenant des sciences cognitives, d'une part, et de l'Intelligence Artificielle Distribuée, d'autre part, peut se révéler fructueuse, particulièrement en ce qui concerne la modélisation de comportements humains. C'est pourquoi nous avons décidé de définir notre propre architecture "agent" afin qu'elle puisse répondre, au mieux, à toutes les spécificités de notre modèle (*cf. chapitre 4*). Puis, nous nous sommes inspirés de travaux en psychologie humaine pour proposer les étapes d'apprentissage de notre agent (*cf. chapitre 5*).

Troisième partie

ALONE :

un modèle d'agent apprenant

Chapitre 4

Agents et environnement ALONE

« *La connaissance sans la sagesse est de l'intelligence artificielle.* »
J.M. Pavelka.

4.1 Introduction

Reprenons un peu les différents éléments que nous avons vus au cours des deux chapitres que nous venons d'aborder. Nous nous sommes, dans un premier temps, intéressés aux sciences cognitives et avons conclu, au fur et à mesure des sous-chapitres, que vouloir tout modéliser et expliquer chez un être humain est, certes, un objectif louable mais quelque peu ambitieux et parfois surréaliste malgré les moyens mis en oeuvre. Nous avons, tout de même, pu nous apercevoir que certaines sciences (comme la psychologie sociale), conscientes de leurs limites, ont recours de plus en plus à l'expérimentation pour comprendre le fonctionnement de l'être humain dans des situations bien spécifiques, plutôt qu'à des théories sans véritables fondements sociologiques. Ainsi, des modèles pertinents sont dégagés et servent même de base à des travaux dans d'autres disciplines (comme par exemple, les travaux de Pléty présentés en 2.3.3).

Nous avons présenté, dans un second temps, une partie de l'Intelligence Artificielle (l'Intelligence Artificielle Distribuée) et avons dégagé quelques-unes de ses caractéristiques. Là encore, nous nous sommes rendus compte que des modèles théoriques existent mais qu'ils sont, pour la plupart, valables dans des contextes particuliers. A ce stade là, des remarques nous viennent à l'esprit : Comment peut-on utiliser des travaux de psychologie et les intégrer dans les systèmes multi-agents ? Et réciproquement, que peuvent apporter les systèmes multi-agents aux sciences sociales ? Pour répondre à la première question, nous avons, une fois de plus, observé les problématiques de ces deux disciplines et avons trouvé que les notions d'apprentissage, de communication et de confiance sont traitées dans chacune d'elles et qu'il serait intéressant d'introduire un peu plus de « social » à des modélisations informatiques. Quant à la seconde question, nous pensons, tout simplement que les systèmes multi-agents, compte-tenu de leurs caractéristiques, sont les plus aptes à proposer une représentation informatique (simplifiée) d'un être humain avec des spécificités distinctes selon les particularités attribuées à chaque individu. En nous basant sur ces propos, nous avons développé un modèle d'agent apprenant ALONE (*Agent Learning by cOmmunication in New Environment*) qui concilie la richesse des sciences cognitives et la rigueur des systèmes multi-agents.

Ce quatrième chapitre débutera donc, par quelques précisions concernant les interactions et la communication au sein de notre environnement. Puis, nous nous attacherons à pré-

senter les spécificités des différents agents qui composent l'environnement ALONE (tant au niveau de l'architecture des agents que du type de connaissances requises au préalable). Nous terminerons, enfin, par une synthèse, qui nous permettra de comparer les caractéristiques d'un agent ALONE avec celles d'agents décrits dans le chapitre 3.

4.2 Interaction et communication

Au cours du deuxième chapitre, nous avons introduit le fait que la communication octroie aux agents la possibilité de s'envoyer, de recevoir des messages et de les comprendre. Nous en avons alors conclu qu'il est indispensable, pour notre modèle, de mettre en avant cette caractéristique et de la considérer même comme à la base de notre processus d'apprentissage. Au vu de cette affirmation, nous nous proposons, dans cette première sous-partie, d'exposer les spécificités de cet élément incontournable pour chacun de nos agents. Nous verrons donc, comment nous assimilons les notions d'interaction et de communication dans notre travail et consacrerons un deuxième paragraphe au type de langage employé.

4.2.1 Interaction vs Communication

Comme nous l'avons précisé dans le paragraphe 3.1.1, l'environnement d'un agent ALONE est l'ensemble des autres agents et des principes à partir desquels l'agent existe (cela comprend les échanges et les interactions). Par conséquent, nous ne distinguons pas les interactions avec l'environnement de la communication entre agents : ces deux types d'interactions n'en forment plus qu'une, réalisée par l'envoi et la réception de messages, appelée échanges. La figure 4.1 illustre cette fusion :

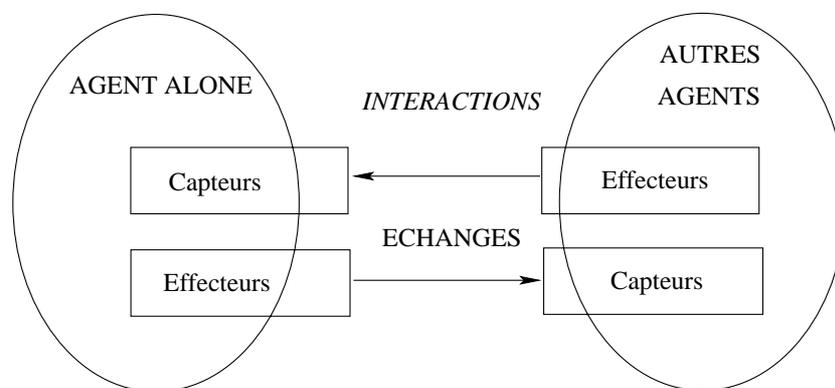


FIG. 4.1 – *Interactions et Communication pour un agent ALONE*

Du point de vue des autres agents, un agent est assimilé à une « boîte noire » capable d'effectuer des échanges. La figure 4.2 représente un environnement ALONE, composé de trois agents interagissant en vertu de notre approche distribuée.

En conclusion de ce petit paragraphe, nous insisterons simplement sur le fait que, pour nous, la communication est considérée comme un support pour l'interaction puisque les interactions sont mises en oeuvre par un transfert d'informations entre les différents agents, soit par la perception, soit par la communication.

Restons d'ailleurs encore quelques instants sur la communication puisque nous allons, à présent, nous intéresser à la typologie des messages échangés.

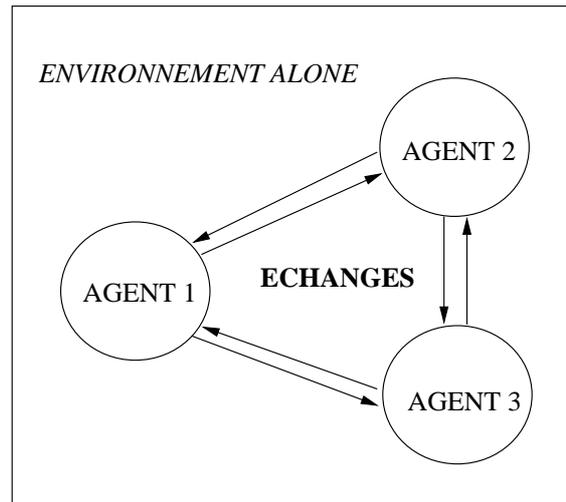


FIG. 4.2 – Un environnement ALONE composé de trois agents

4.2.2 La communication : pourquoi utiliser le langage naturel ?

Nous avons essayé, tout au long du premier chapitre, de souligner l'importance du langage entre les individus, particulièrement lors des moments d'apprentissage. Bien entendu, nous avons été amenés à nous rendre compte que la richesse d'une langue était telle qu'il était généralement impossible d'en comprendre toutes les subtilités et que d'essayer de la modéliser devenait vite un travail aussi titanesque que les douze travaux d'Hercule. Pourtant, si nous restons en concordance avec notre objectif (qui est d'essayer de modéliser un comportement humain à l'aide des systèmes multi-agents), il est tout à fait inhérent de prendre en compte le langage naturel dans notre modèle et de l'intégrer à notre environnement. De ce fait, donner à des agents des capacités de communication aussi proches que possible de celles des humains permet de rendre nos simulations plus réalistes et de nous rapprocher le plus fidèlement possible de notre dessein.

Ainsi, il nous est possible de réaliser de véritables dialogues entre nos agents, comme le montre l'exemple suivant qui est extrait d'une simulation portant sur les jeux d'échecs :

James : *Connaissez vous les différentes variantes de jeux d'échecs ? Jouez-vous régulièrement à cela ?*

Mike : *J'ai toujours été fasciné par les variantes des jeux d'échecs. Je me souviens avoir lu un livre sur ce thème lorsque j'étais plus jeune : il décrivait entièrement les stratégies et les difficultés de chaque variante ; c'était fascinant. Cela m'a d'ailleurs véritablement donné envie de m'y intéresser.*

Steve : *Oui, moi aussi. J'ai découvert qu'il existait des variantes des jeux d'échecs grâce à Internet. A partir de là, je me suis documenté et j'ai commencé à jouer en ligne avec d'autres personnes. Ma variante favorite est Chaturanga car elle a beaucoup de ressemblances avec les jeux d'échecs traditionnels et les jeux d'échecs chinois.*

D'un point de vue un peu plus technique, quelques éléments sont à retenir :

- Tous les échanges effectués contiennent l'identifiant de l'agent qui les a transmis.
- Chaque message peut être envoyé à un agent précis (*unicast*), à certains agents en particulier (*multicast*) ou à l'ensemble des autres agents (*broadcast*). Cependant, dès l'arrivée d'un agent apprenant dans le système, une copie de tous les messages est

automatiquement envoyée à ce dernier (nous verrons ce point de manière détaillée un peu plus loin).

- Un agent ne peut dialoguer avec un autre agent que s'il le connaît (*i.e.* il possède des accointances au préalable sur lui). Autrement dit, il est impossible, pour tout nouvel agent, de s'introduire dans l'environnement ALONE et de pouvoir prendre part à une discussion sans s'être, auparavant, identifié et fait connaître auprès du conseiller (dont nous verrons le rôle dans le paragraphe suivant).

Pour chaque type d'agent, d'autres particularités au niveau de la communication sont définies mais nous les verrons plus en détail dans la section suivante. Cette sous-section nous a permis d'introduire une particularité à notre modèle : celle d'inclure du langage naturel dans le contenu des messages échangés.

Nous allons, maintenant, exposer, avec plus de précisions, l'architecture des agents rencontrés dans l'environnement ALONE.

4.3 Architecture des agents proposés dans ALONE

4.3.1 Introduction

Un agent ALONE peut être considéré comme un ensemble de composants lui permettant de percevoir, décider et agir. Comme l'illustre la figure 4.3, un agent contient essentiellement un module de communication et un processus de décision (*i.e.* les composants), qui, selon le type d'agent, peuvent prendre plus ou moins d'importance dans leurs fonctions.

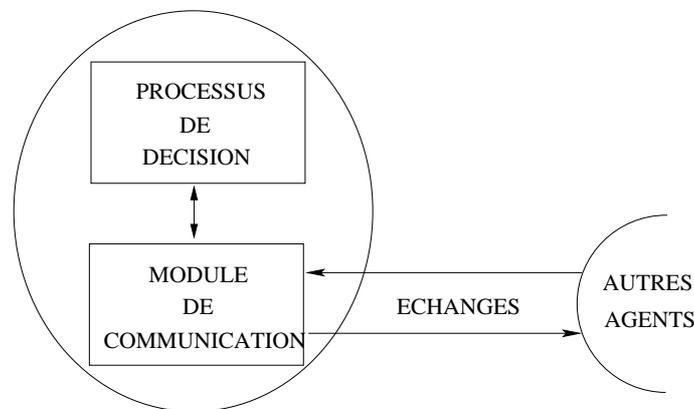


FIG. 4.3 – Les composants d'un agent ALONE et leurs interactions

Nous considérons que notre environnement comprend, généralement, trois sortes d'agents :

- Des **participants**, dont l'objectif est simplement de communiquer entre eux;
- Un **apprenant**, quelque peu novice vis-à-vis du domaine dans lequel il se situe. Il désire avant tout acquérir de nouvelles connaissances pour pouvoir les partager par la suite avec les autres;
- Un **conseiller**, qui est, d'une part chargé de réguler la communication entre les agents et est, d'autre part, en mesure d'aider l'apprenant à se faire une opinion sur chaque agent présent (*i.e.* il est le seul à avoir toutes les identifications de chacun. Comme nous nous situons dans de la modélisation de comportements humains, il sait, par exemple, l'âge de tous les participants, leur fonction, leur ancienneté...).

Nous allons, donc, nous efforcer, dans cette section, de présenter l'architecture de chacun de ces agents tant au niveau des connaissances que des fonctions qui les qualifient en essayant de rester le plus fidèle possible aux spécificités d'un être humain.

4.3.2 Les participants

Comme nous l'avons mentionné en introduction, les participants représentent les agents se trouvant dans un environnement donné et s'échangeant des messages via leurs capteurs et leurs effecteurs. Pour faire un parallèle avec « l'univers humain », imaginons une réunion d'un conseil de discipline au collège, où chaque professeur doit statuer sur le comportement d'un élève. Les différents professeurs présents à cette réunion sont symbolisés par les participants puisque leur seul objectif, ici, est d'échanger leur point de vue avec leurs collègues. A travers cet exemple, nous pouvons percevoir les rôles que doivent tenir chacune de ces personnes : écouter les autres, comprendre leurs propos, les questionner en cas de besoin et faire valoir leurs opinions. Finalement, il en est pratiquement de même pour nos agents participants dont nous allons commencer par présenter les connaissances.

Connaissances d'un participant

Pour pouvoir être qualifié d'autonome (au sens de la définition de Foner que nous avons introduite en 3.1.1) et intelligent, l'agent doit posséder un certain nombre de connaissances nécessaires à la réalisation de ses objectifs et à la gestion des interactions avec les autres. Dans notre modèle, les participants ont quatre types de connaissances : **des connaissances linguistiques** (*i.e.* en particulier sur les messages échangés et la compréhension du langage naturel), **des connaissances sur les participants** (*i.e.* des renseignements sur les personnes présentes dans l'environnement), **des connaissances terminologiques** (*i.e.* un vocabulaire adapté et spécialisé au domaine dans lequel ils se situent, c'est ce que l'on appelle généralement les compétences du domaine), et enfin **des connaissances extérieures** (*i.e.* arrivée d'un nouvel agent, par exemple).

Parcourons, pour le moment, un peu plus en détails chacune de ces connaissances (puisque nous envisageons, comme Vygotsky, que la sociabilité d'un individu réside dans les connaissances qu'il possède et qu'il acquière au fil du temps).

Les connaissances linguistiques Par ce terme, nous estimons que les agents comprennent et sont capables de répondre à tous les messages envoyés. En effet, nous considérons que les messages représentent explicitement les informations et les connaissances qui circulent entre les agents. De plus, comme nous l'avons déjà mentionné, le corps de chacun des messages est en langage naturel et tous nos agents sont en mesure de les interpréter. Ainsi, tous les messages comportent à la fois des informations techniques (Si nous reprenons, l'exemple du conseil de classe, nous trouvons, par exemple : « rendez-vous avec les parents d'élèves à 17h », « élève dissipé », « élève ne connaissant pas la différence entre le rayon et le diamètre »...) mais également des renseignements « émotionnels » (la phrase « que pensez vous de Dupont ? », n'entraîne pas le même type de réponse de la part des autres participants que la phrase « je pense que nous devrions le renvoyer ! »).

Les connaissances sur les participants Chaque participant ne peut communiquer qu'avec des agents connus au préalable. Il dispose, pour cela, aussi bien de renseignements personnels (nom, âge, sexe...) que professionnels (essentiellement le grade et l'ancienneté)

sur tous les autres participants. Ces connaissances sont par exemple : *Luc est professeur de mathématiques au collège depuis 2 ans, il a 28 ans et habite le département du Rhône.* Nous partons également du principe que chaque participant est coopératif (dans le sens de Foner) ce qui signifie que chacun peut poser une question et répondre librement sans avoir un « quotas » précis de temps de parole à respecter. En fonction de ses connaissances terminologiques vis-à-vis du sujet abordé, il va de soi que chacun ne pourra répondre explicitement aux sollicitations offertes.

Les connaissances terminologiques En ce qui concerne cette partie, nous retrouvons véritablement les compétences d'un agent vis-à-vis d'un sujet en particulier. De ce fait, nous considérons que chaque participant possède un vocabulaire adapté au domaine dans lequel il se situe ce qui le rend, dès lors, compréhensif par tous. De manière plus précise, l'ensemble du vocabulaire utilisé est regroupé dans l'ontologie de l'agent (nous rappelons que nous adoptons, tout au long de ce travail, la définition de Jean Charlet sur l'ontologie et estimons qu'une ontologie inclut nécessairement un vocabulaire de termes et une spécification de leur signification). Ainsi, chaque participant possède une ontologie (plus ou moins précise mais adaptée au domaine) lui permettant d'avoir de véritables échanges avec les autres sans pour autant être obligé de préciser chacun des termes prononcés. Par exemple, deux professeurs de mathématiques discutant d'un problème de rayon, savent que ce terme fait référence à la distance au centre des points d'un cercle plutôt qu'à une tablette disposée pour ranger des objets.

Mentionnons également que tout nouvel agent désirant avoir une conversation avec les autres participants, ne peut le faire que s'il dispose d'une ontologie en adéquation avec le domaine dans lequel il se situe. Si ce n'est pas le cas, il doit tout d'abord passer par une phase d'apprentissage (et est, dans cette situation, considéré comme un apprenant et non plus un participant) avant de pouvoir véritablement échanger avec les autres. Prenons note au passage que le fait de savoir si un agent est apte ou non à discuter avec les autres (*i.e.* son ontologie est-elle en concordance avec l'environnement?), est déterminé par le conseiller en fonction des renseignements professionnels fournis à ce dernier au moment de son arrivée dans le système : son ancienneté est-elle supérieure à un an et son grade est-il en relation avec le domaine étudié ? Nous entendons par là, le fait de savoir si la fonction exercée par l'individu entrant dans le système appartient aux métiers du milieu simulé. Par exemple, si nous décidons de simuler le comportement de personnes appartenant au milieu médical, une infirmière, un médecin ou un professeur sont obligatoirement considérés comme participants alors qu'un maître de conférence est jugé, dans un premier temps, en tant qu'apprenant. De la même façon, un jeune interne, bien que son grade soit en relation avec le milieu médical, passe d'abord par une phase d'apprentissage vu son manque d'expérience dans le domaine.

Les connaissances extérieures Nous jugeons que les participants doivent, connaître à tout moment, l'arrivée (ou le départ) d'un nouvel agent dans l'environnement. En effet, à partir de cela, chacun peut mettre à jour ses accointances en fonction des renseignements donnés. D'un point de vue plus technique, les participants sont informés de l'arrivée d'un nouvel agent par le conseiller qui leur promulgue toutes les informations qui sont utiles pour eux (à savoir le nom de l'agent, son âge, son grade et son lieu de résidence (nous tenons à signaler au lecteur que tous nos exemples sont traités dans une logique de simulation de comportements humains. Cependant, tous les items que nous employons ont la possibilité d'être traduits de façon informatique selon les normes Fipa (par exemple,

le lieu de résidence peut représenter une adresse IP de la plate-forme mère de l'agent simulé)). Ceci se manifeste par l'envoi d'un message spécifique, avec accusé de réception, à tous les participants et de façon simultanée. Il a la forme suivante: « *Arrivée d'un nouveau participant. Nom: Benoît, Age: 28 ans, Résidence: Rhône, Grade: maître de conférence* ». De la même façon, le retrait d'un agent se fait sous la forme: « *Départ de Benoît* ». Tous ces messages sont traités par ordre d'arrivée et permettent à tous les agents de mettre à jour leur base de connaissances.

A présent, nous allons nous soucier de décrire les fonctions des participants, en particulier, en ce qui concerne chacun de leurs modules: le module de communication et celui de prise de décision.

Fonctions d'un participant

Comme nous l'avons vu en introduction, tous les agents de l'environnement ALONE possèdent deux modules qui sont plus ou moins développés selon les fonctions qu'ils exercent. Pour les participants, il va de soi que le module utilisé en premier est celui de communication puisqu'il est à la base de tous les échanges effectués.

Le module de communication Ce module fournit tous les mécanismes d'interactions de l'agent avec les autres agents mais également avec le module de prise de décision comme nous pouvons l'observer sur la figure 4.4.

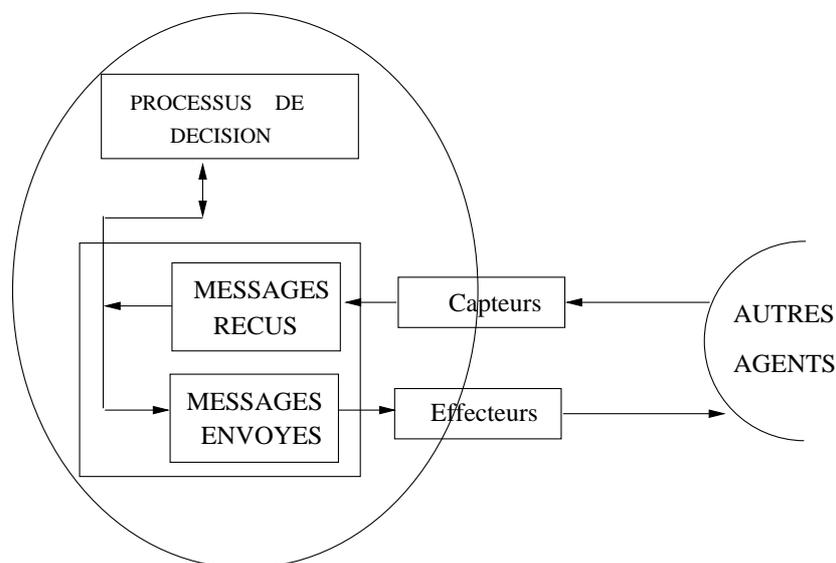


FIG. 4.4 – Le module de communication d'un participant

Ce module réalise essentiellement deux fonctions :

- La réception de messages en provenance des autres agents;
- L'envoi de messages aux autres agents faisant ainsi valoir leurs opinions ou suggestions aux autres participants.

Pour la réception d'informations, une fois le message reçu (via les capteurs), celui-ci est transféré directement au processus de décision afin d'être analysé.

Concernant l'envoi de messages (via les effecteurs), les décisions transmises par le processus de décision sont envoyées au module de communication qui les transfère au destinataire concerné. Le mode de transmission est sélectif ou diffusé, avec ou sans accusé de réception, synchrone ou asynchrone... en fonction de l'objectif visé.

Il n'existe pas de connaissances particulières au niveau de ce module qui joue simplement le rôle de "facteur" entre le processus de décision et les autres agents.

Voici, par exemple, les étapes suivies par le message « *Je suis entièrement d'accord avec toi sur ce point, mais que penses-tu de son attitude en classe?* », qui est une réponse apportée par un professeur (André) à un autre professeur (Stéphanie) :

1. Réception du message en provenance du module de prise de décision
2. Envoi du message à Stéphanie
3. Attente du renvoi de l'accusé de réception (dans le cas où celui-ci a été demandé) et de la réponse appropriée

Avant de poursuivre, observons simplement la structure que nous avons décidé d'adopter pour tous les messages échangés (structure inspirée du langage KQML (voir paragraphe 3.3.2 pour plus de détails sur les langages Fipa) de façon à avoir un squelette de message relativement général mais qui prenne en considération les informations inhérentes à notre modèle). Par exemple, le message d'André aura la forme suivante :

(**Tell:Sender** André

:Receiver Stéphanie

:Content « Je suis entièrement d'accord avec toi sur ce point, mais que penses-tu de son attitude en classe? »

:Language Français

)

Sur le schéma 4.4., nous avons, volontairement, fait apparaître des capteurs et des effecteurs externes faisant un lien entre les autres agents et un participant en particulier. Il convient de faire un aparté sur ce sujet puisque d'autres capteurs et effecteurs se situent à l'intérieur d'un participant mais ne sont pas représentés sur le schéma pour des raisons de lisibilité. En effet, nous considérons qu'un effecteur est un composant chargé de réaliser les actions demandées par le processus de décision. Il encapsule, donc, des actions correspondant soit à un stimulus externe (lors de l'envoi de messages, ce sont ni plus ni moins que les échanges) soit à un stimulus interne (lorsque l'étape de raisonnement incluse dans le processus de décision est terminée).

Le capteur, quant à lui, est un composant chargé de réceptionner certains types de stimuli, et des les interpréter avant de les distribuer au processus de décision. Un capteur peut recevoir des stimuli externes (lors de la réception de messages) ou internes (de la part de l'analyseur en fonction des éléments extraits). La figure 4.5 donne un aperçu de toutes ces interactions.

Nous avons donné ces détails pour les participants mais il en est exactement de même pour l'apprenant et le conseiller. Nous allons, à présent, nous intéresser au module de prise de décision du participant.

Le module de prise de décision Il est vraiment le coeur du participant puisqu'il comporte toutes les connaissances nécessaires à la compréhension des messages envoyés et permet de répondre de la façon la plus pertinente possible. Nous pourrions finalement comparer ce module à un cerveau d'être humain dans lequel se sont accumulées des informations (aussi bien sur un domaine en particulier que sur les différentes personnes

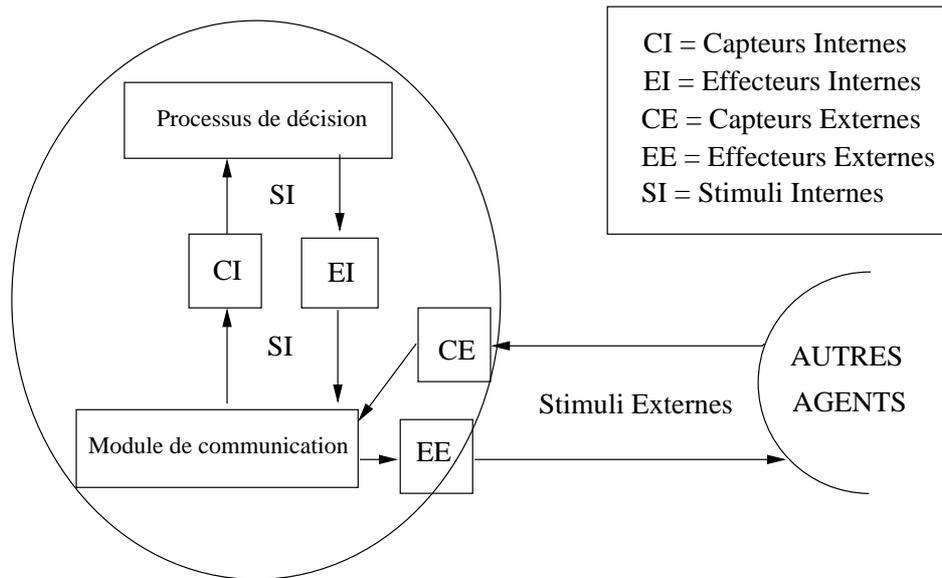


FIG. 4.5 – Détails des interactions entre composants d'un participant

rencontrées) au fil des années passées et qui servent de base à la construction d'un raisonnement. La formulation de la réponse finale de l'agent est fonction d'un certain nombre de connaissances comme l'illustre la figure 4.6 :

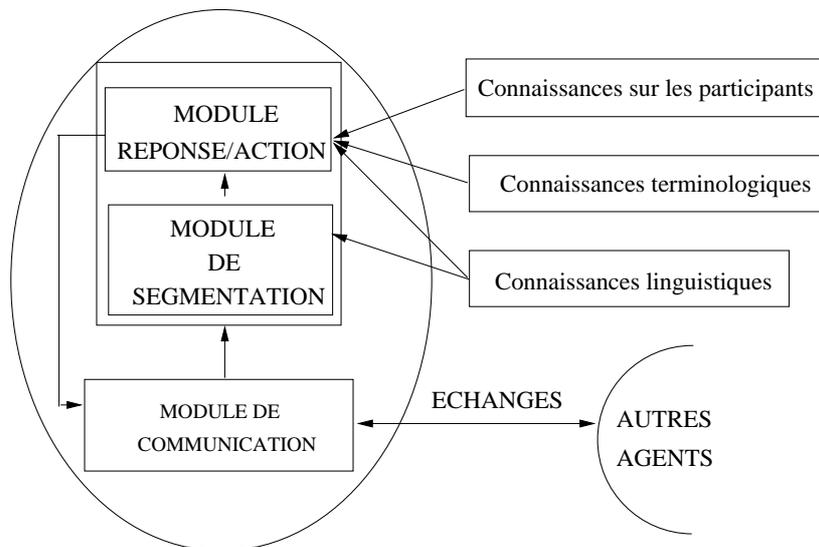


FIG. 4.6 – Le module de prise de décision d'un participant

Reprenons un peu les étapes suivies par notre message dès sa réception dans le module de communication. Pour pouvoir être compris, le message est, dans un premier temps, transféré au module de segmentation du processus de décision. En effet, celui-ci utilise toutes les connaissances en linguistique pour décomposer le message et le comprendre. Il permet, entre autre, de dégager le nom du destinataire (nous verrons qu'en fonction de son type, la réponse apportée est différente) et le contenu du message. En ce qui concerne ce contenu, le module de segmentation, compte-tenu du fait qu'il est étudié pour comprendre le langage naturel, détermine le type de phrase prononcée (s'agit-il d'une question?, d'une affirmation?) et les mots sur lesquels doivent porter la réponse.

Pour illustrer cela, supposons, pour reprendre l'exemple que nous avons donné dans le module de communication, que Stéphanie réponde à André : « *Il est plutôt peu dissipé en classe, non ?* », les étapes conduites par l'analyseur sont :

1. Réception du message en provenance du module de communication
2. Décomposition du message grâce aux connaissances linguistiques
3. Lecture du nom de l'expéditeur (Stéphanie) et du contenu du message (il est peu dissipé en classe, non ?)
4. Analyse du contenu du message (il s'agit d'une question qui va engendrer une réponse)
5. Transmission de ces éléments au module de réponse/action qui va pouvoir construire une réponse adaptée.

Pour créer une réponse adaptée au cours du module de réponse/action, l'agent fait appel à trois types de connaissances (comme le montre le schéma 4.6) :

- **Les connaissances sur les participants** qui regroupent, comme nous l'avons vu dans le paragraphe sur les connaissances, toutes les informations personnelles relatives à chaque individu. Elles identifient l'expéditeur du message et lui proposent une réponse. En effet, en fonction de l'agent (*i.e.* s'agit-il d'un participant, d'un apprenant ou du conseiller ?), la réponse à promulguer est différente et doit mettre en avant certaines connaissances plutôt que d'autres. Cette connaissance est la première à être utilisée lors de la réception du message provenant de l'analyseur.
- **Les connaissances terminologiques**, adaptées au domaine, permettent de comprendre les termes utilisés par chacun des participants. Elles sont particulièrement sollicitées par l'apprenant lors de son processus d'apprentissage.
- **Les connaissances linguistiques**, qui formulent une réponse en langage naturel.

Selon le « type » de l'agent expéditeur, trois possibilités s'offrent au module de réponse/action. En effet, si un agent **participant** a formulé une question, le module produit une réponse se traduisant par :

1. Réception des informations de la part du module de segmentation et analyse des accointances de l'expéditeur
2. Formulation d'une réponse grâce aux connaissances linguistiques (dans notre exemple, André fournira une réponse de type « non je ne trouve pas »)
3. Définition du destinataire (Stéphanie, par exemple)
4. Envoi au module de communication qui fait parvenir le message à destination

Par contre, si l'expéditeur est un **apprenant** (dans ce cas précis, sa question est de type : « que signifie le terme rayon ? »), le module de réponse/action lance une requête sur l'ontologie afin de connaître la signification du terme demandé (nous détaillerons plus cette partie dans le chapitre suivant) :

1. Réception des informations de la part du module de segmentation et analyse des accointances de l'expéditeur
2. Requête sur l'ontologie pour connaître le père du terme demandé
3. Formulation d'une réponse grâce aux connaissances linguistiques (par exemple, pour le mot rayon la réponse est « C'est une distance »)
4. Définition du destinataire (l'apprenant)
5. Envoi au module de communication qui fait parvenir le message à destination

Enfin, s'il s'agit d'un message envoyé par le **conseiller**, le module de réponse/action est chargé de mettre à jour les accointances du participant (*i.e.* ajouter le nouvel arrivant avec tous ses renseignements) :

1. Réception des informations de la part du module de segmentation et analyse des accointances de l'expéditeur
2. Mise à jour des accointances (ajout d'un nouvel arrivant ou retrait de celui-ci)
3. Formulation d'une réponse grâce aux connaissances linguistiques (de type « J'ai pris note que Benoît était un nouvel arrivant »)
4. Définition du destinataire (le conseiller)
5. Envoi au module de communication qui fait parvenir le message à destination

Nous avons analysé le fonctionnement d'un agent participant ainsi que le détail de ses connaissances de base lui servant à communiquer avec les autres. Nous avons essayé d'introduire un certain nombre de concepts agents (comme l'ontologie) à une modélisation un peu plus humaine (grande importance accordée à la linguistique).

Nous allons à présent, nous intéresser, à une autre notion importante dans les SMA, le cycle de vie d'un participant.

Cycle de vie d'un participant

Le cycle de vie d'un participant, c'est-à-dire le moment où il peut véritablement entrer dans l'environnement et discuter avec les autres, est initié par l'envoi d'un message de bienvenue de la part du conseiller. En effet, avant de pouvoir prendre part à une conversation, le participant apporte au conseiller toutes les informations le concernant (aussi bien ses informations personnelles que professionnelles). Ce dernier les examine, considère s'il est apte ou non à pouvoir discuter avec les autres (*i.e.* a-t-il une ontologie en adéquation avec le domaine ou doit-il passer par un stade d'apprentissage avant de pouvoir comprendre les autres?), envoie un message d'information à tous les autres agents et enfin, envoie un message de bienvenue au nouveau participant. Dès lors, l'agent est considéré comme véritablement activé et ne prend fin que lorsqu'il envoie un message de retrait à tous (*i.e.* son départ signifie qu'il est resté un certain temps sans recevoir aucun message ce qui indique qu'il n'a plus rien à apporter aux autres ou qu'il ne désire plus prendre part à une conversation).

Pour élaborer ce cycle de vie, nous nous sommes inspirés de travaux en psychologie sociale sur la formation d'identité sociale d'un individu, et plus particulièrement de ceux de George Mead [MEA34]. En effet, il considère que l'enfant prend conscience de lui-même au contact de son environnement et d'autrui et qu'il adopte un véritable comportement de socialisation avec eux. Toutes ses attentions à son égard entraînent une réaction de sa part et, réciproquement, c'est seulement lorsqu'il se manifeste que les autres le considèrent et lui promulguent de l'attention. Par transposition en univers multi agent, ce n'est que lorsqu'un conseiller s'intéresse à lui, que le futur participant devient véritablement actif et reconnu.

Ayant terminé la présentation des participants, nous allons, maintenant, nous soucier d'un autre type d'agent présent dans le système, l'apprenant.

4.3.3 L'apprenant

En début de section, nous avons présenté l'apprenant comme un agent novice vis-à-vis du domaine dans lequel il se situe et désirent, avant tout, acquérir de nouvelles connaissances

afin, non seulement, de comprendre tous les messages émis mais également, d'avoir de véritables échanges avec les participants.

Dès à présent, nous tenons à souligner l'importance de cet agent qui représente véritablement le coeur de notre modèle et qui, finalement, symbolise le plus un comportement humain. D'ailleurs pour élaborer son fonctionnement, nous nous sommes appuyés sur un certain nombre de travaux en psychologie et avons puisé notre inspiration sur des observations, à la manière des expérimentations réalisées en psychologie sociale (avec, bien entendu, beaucoup moins de moyens et de rigueur que Kurt Lewin ou Robert Pléty!). Pour donner une image simple mais illustrative de cet agent en relation avec les travaux de Jean Piaget, l'apprenant peut-être assimilé à un enfant (situé au stade concret, par exemple) qui doit intégrer de nouveaux éléments à ses connaissances précédentes pour pouvoir évoluer, comprendre les personnes qui l'entourent et acquérir, de surcroît, un enrichissement personnel. L'apprentissage est, ainsi, à la base de cette action qui ne passe pas exclusivement par une remise en cause personnelle mais également par un échange étroit avec les autres (relations parentales, amicales...).

Comme pour le participant, nous allons, dès à présent, détailler les connaissances de base de cet agent mais aussi ses fonctions. Nous évoquerons, également, certaines caractéristiques (en particulier en ce qui concerne sa mémoire) qui nous paraissent utiles à spécifier dans ce cadre particulier. Puis, nous finirons par déployer son cycle de vie.

Connaissances d'un apprenant

Comme le participant, l'apprenant bénéficie d'un certain nombre de connaissances de base qui lui servent durant son processus d'apprentissage et qui sont même étoffées pour quelques-unes d'entre elles. Nous dénombrons cinq types de connaissances : **des connaissances linguistiques, des connaissances terminologiques, des connaissances sur les participants, des connaissances sur la confiance et des connaissances extérieures**. Présentons les de façon plus précise.

Les connaissances linguistiques Au niveau de ce type de connaissances, nous avons essayé, d'effectuer un certain parallèle avec les êtres humains puisque dans une conversation, le récepteur d'une information n'est jamais passif (il ne se contente pas d'enregistrer et de digérer l'instruction reçue) mais au contraire, il analyse, filtre, décode et interprète comme le fait notre agent. Ainsi, les connaissances linguistiques de notre apprenant sont assez élaborées dans la mesure où une véritable analyse linguistique est réalisée sur chacun des messages reçus (nous verrons dans le chapitre suivant comment, durant l'apprentissage, chaque point de la phrase est décortiqué). Tous les éléments d'une phrase sont examinés et compris, que se soit lors d'un discours en français ou en anglais, puisque les outils d'extraction et de compréhension dont dispose notre agent, sont conçus pour opérer dans ces deux langues.

En ce qui concerne l'envoi et la réception de messages, la majorité des messages reçus par l'apprenant sont de type informatif et ne cherchent nullement à le convaincre ou à l'influencer lors de l'acquisition de nouveaux mots. Par contre, tous les messages émis sont, dans un premier temps, exclusivement interrogatifs puisque nous considérons que pour devenir participant dans l'environnement (et ainsi faire valoir ses opinions), l'apprenant doit commencer par comprendre ce qui l'entoure, à la manière d'un jeune enfant qui découvre un lieu pour jouer et de nouveaux camarades. Nous n'excluons, évidemment pas le fait, que cet agent possède toutes les connaissances pour pouvoir formuler de véritables

points de vue et prendre part à une conversation à postériori.

Les connaissances terminologiques A l’instar du participant, c’est dans cette partie que résident les compétences de notre agent sur un sujet en particulier. Néanmoins, il ne possède pas une ontologie véritablement adaptée au domaine dans lequel il se situe et ne saisit pas, par conséquent, tous les termes qui sont prononcés. Son ontologie est, ce que nous appelons, une ontologie basique, liée à ses compétences, qui lui permet de comprendre les mots « simples » d’une conversation. Ainsi, il entend des termes sans pour autant les comprendre et savoir à quoi ils font référence.

Illustrons un peu ce propos pour mieux le concevoir en reprenant l’exemple du jeu d’échecs que nous avons évoqué en 4.2.2. Supposons donc, des joueurs d’échecs (assimilés aux participants) qui discutent à propos des variantes que l’on peut trouver sur Internet au niveau de ce jeu. Bien entendu, leur langage est très spécialisé et adapté aux personnes qui les écoutent. Imaginons, maintenant, qu’un jeune joueur (ayant appris ce jeu quelques mois auparavant) désire prendre part à cette conversation. Des termes tels que « roi », « reine » ou « cavalier » font, bien entendu, partis de son ontologie par contre tous les mots plus techniques comme « éléphant » ou « général » (qui sont utilisés dans une variante d’échecs appelée Shatranj) lui sont totalement inconnus dans ce contexte. Il doit, par conséquent, les apprendre en demandant des spécificités sur chacun d’entre eux.

Comme nous pouvons le remarquer, tous nos agents apprenants sont forcément dotés d’une ontologie contenant un minimum de termes puisque nous pensons qu’il serait totalement utopique de représenter un individu sans un minimum de connaissances. En effet, nous considérons que toute personne adulte possède un certain nombre d’acquis qu’elle a pu apprendre dès son plus jeune âge et qui lui permettent, principalement, de communiquer avec les autres et de se construire elle-même. D’ailleurs, les travaux de Piaget (voir dans le chapitre 2, la partie sur le constructivisme) argumentent bien dans ce sens puisqu’ils montrent que même si un apprentissage est continu, il survient, principalement, lors du stade sensori-moteur et c’est seulement un enrichissement personnel qui advient par la suite.

Les connaissances sur les participants Dès son arrivée dans l’environnement, l’apprenant est confronté au conseiller afin de s’identifier auprès de celui-ci. A partir de là, au vu de son objectif et du fait qu’il doit connaître parfaitement chacun des participants, il va demander au conseiller de lui fournir, en détails, toutes les données concernant chacun des agents présents. Par conséquent, il a en sa possession des renseignements personnels et professionnels qu’il est le seul à connaître avec le conseiller.

Pour revenir à notre exemple sur le conseil de classe, notre agent apprenant sait que Luc est âgé de 28 ans, qu’il réside dans le Rhône, qu’il est professeur de mathématiques et exerce ce rôle depuis 2 ans.

Nous jugeons qu’une connaissance aussi pointue pour cet agent est nécessaire dans la mesure où elle fait partie des éléments entrant en considération lors de la détermination de la confiance à accorder à un individu (nous verrons plus en détails le calcul de la confiance dans le chapitre suivant). Pour tenir compte de ce type de connaissances, nous nous sommes appuyés sur la sociologie et les approches « interactionnistes » qui envisagent les phénomènes sociaux à partir des individus. En effet, ils estiment que l’important dans les relations sociales d’une personne avec les autres réside dans la compréhension de ses rôles et ses décisions routinières (*i.e.* des décisions qui sont prises quotidiennement) bien plus que dans l’analyse de son appartenance à un groupe. Ainsi, comprendre et ap-

prendre à connaître un individu passe par le fait de l'interroger sur ses responsabilités professionnelles et ses objectifs dans ce domaine avant de s'intéresser à des informations plus secondaires telles que ses loisirs. Bien entendu, ces approches prennent également en considération toutes les informations personnelles (nom, âge...) qui servent d'avantage à « identifier » un individu plutôt qu'à le connaître réellement.

Les connaissances sur la confiance Nous allons, volontairement, ne pas trop rentrer dans les détails concernant cette connaissance puisqu'elle fait l'objet d'un paragraphe plus approfondi dans le chapitre suivant. Nous tenons simplement à préciser que pour apprendre la signification d'un terme et du fait qu'un grand nombre de participants se trouvent dans l'environnement, notre agent doit faire un choix parmi une des définitions qui lui sont proposées (si elles sont discordantes) et va, pour cela, accorder plus ou moins de confiance aux personnes qui se trouvent avec lui. Nous verrons que selon les connaissances qu'il a pu glaner sur les autres, il sera en mesure de se faire une opinion sur chacun d'eux en prenant en considération divers paramètres.

Cette volonté d'instaurer une confiance envers une personne s'inscrit dans une démarche sociologique humaine, et plus particulièrement dans celle de Pierre Bourdieu et sa théorie de l'*habitus* [BOU97]. En effet, pour lui, l'individu doit faire face à un double processus: d'une part à un « conditionnement » régit par des règles de conduite, des normes de comportement, des façons de s'exprimer, de ressentir, de penser qui sont propres au milieu social dans lequel il se situe et d'autre part, au fait que ses conduites acquises sont aussi des dispositions à agir, des savoirs et savoir-faire qui permettent, dans un univers social donné, d'agir librement et de considérer les autres avec plus ou moins de crédulité selon la façon dont ils se comportent. Ainsi, des personnes de rang social différent et de culture distincte ne prendront pas en considération les mêmes éléments pour accorder ou non leur confiance à quelqu'un bien que cela soit pour eux, un élément primordial pour la société dans laquelle ils se situent. Nous observons donc, que dans notre cas, notre agent se sert de critères professionnels et relationnels pour déterminer son niveau de confiance.

Les connaissances extérieures Comme pour les participants, l'apprenant est informé de l'arrivée ou du départ d'un agent pour qu'il puisse mettre à jour régulièrement ses connaissances sur celui-ci. Le conseiller lui fournit tous ces renseignements par l'envoi d'un message (avec accusé de réception et qu'il réceptionne en même temps que les participants) de type « *Arrivée d'un nouveau participant. Nom : Liliane, Age : 40 ans, Résidence : Rhône, Grade : Professeur de philosophie, Ancienneté : 15 ans* ». De la même façon, le retrait d'un agent se fait sous la forme : « *Départ de Liliane* ».

Tous ces messages sont traités par ordre d'arrivée et activent, automatiquement, un processus de stockage ou de retrait des données au niveau de la base de connaissances relative aux participants (nous verrons plus en détails cette base de connaissances dans le chapitre suivant).

Dans cette première sous-partie, nous nous sommes occupés des connaissances de base d'un apprenant et avons noté qu'elles étaient au nombre de cinq. Nous allons, à présent, nous concentrer sur les fonctions de ce type d'agent, en particulier, en ce qui concerne chacun des deux modules: le module de communication et celui de prise de décision.

Fonctions d'un apprenant

Comme pour le participant, l'apprenant communique avec les autres via son module de communication et raisonne, par la suite, grâce à son module de prise de décision. Ses deux modules n'ont, bien entendu, pas le même niveau de développement, comme nous allons le voir dans les deux paragraphes suivants.

Le module de communication Ce module fournit tous les mécanismes d'interactions de l'agent avec les autres agents mais également avec le module de prise de décision comme nous pouvons l'observer sur la figure 4.7 :

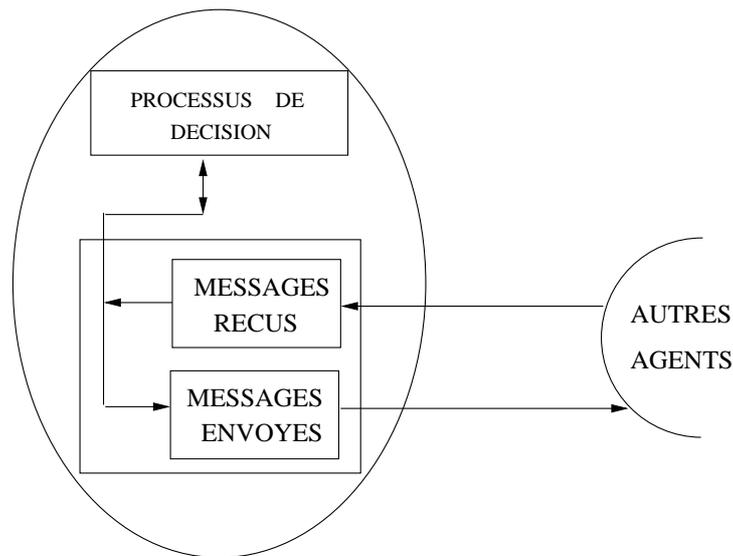


FIG. 4.7 – Le module de communication d'un apprenant

Nous pouvons effectuer un parallèle avec le module de communication d'un participant puisqu'ils ont tous les deux les mêmes objectifs :

- La réception des messages en provenance des autres agents;
- L'envoi de messages aux participants et au conseiller. Dans ce cas, la majorité des messages envoyés sont de type interrogatifs comme nous l'avons mentionné précédemment.

Ce module ne nécessite pas, non plus, de connaissances particulières puisqu'il joue simplement un rôle de « facteur » soit avec l'extérieur soit avec le module de prise de décision. Donnons simplement deux petits exemples en ce qui concerne le chemin suivi par un message envoyé et un message reçu en reprenant notre exemple concernant la discussion entre deux professeurs de mathématique sur la calcul du rayon d'un cercle. Notre apprenant cherche donc, dans un premier temps, à comprendre le sens du mot rayon en envoyant une phrase de type « *Qu'est ce qu'un rayon ?* ». Au niveau du module de communication, ceci se traduit par :

1. Réception du message en provenance du module de prise de décision
2. Envoi du message à l'apprenant concerné
3. Attente de la réponse appropriée

Dans un deuxième temps, le participant formule une réponse de type « *C'est une distance* » qui est réceptionnée par l'apprenant de la façon suivante :

1. Réception du message du participant

2. Envoi du message au module de prise de décision
3. Envoi du récépissé s'il y en a un

Rappelons au passage que tous les messages échangés entre les participants sont également envoyés à l'apprenant qui est simplement chargé de les analyser sans pouvoir y répondre de manière explicite. En d'autre terme, même si les connaissances linguistiques de notre agent lui permettent de formuler des opinions, il ne peut pas prendre part à une conversation et s'il le fait, ses messages ne sont, dans tous les cas, pas lus par les participants et lui sont même refusés.

Par ailleurs, tous les messages sont traités par ordre d'arrivée et sont stockés en attendant d'être acheminés vers le module de prise de décision. En outre, c'est à ce module que nous allons nous intéresser maintenant.

Le module de prise de décision Ce module a un double objectif pour l'apprenant : d'une part comprendre les messages échangés et d'autre part, établir un processus d'apprentissage afin d'intégrer de nouveaux concepts à son ontologie. Dans la description de ce module, nous essayerons de ne pas trop rentrer dans les étapes du processus d'apprentissage à proprement parler puisqu'il fait l'objet d'une analyse plus approfondie dans le chapitre suivant. Cependant, nous pouvons d'ores et déjà constater sur la figure 4.8 que ce module est composé de trois sous modules : **un module de segmentation, un module d'apprentissage et un module de réponses.**

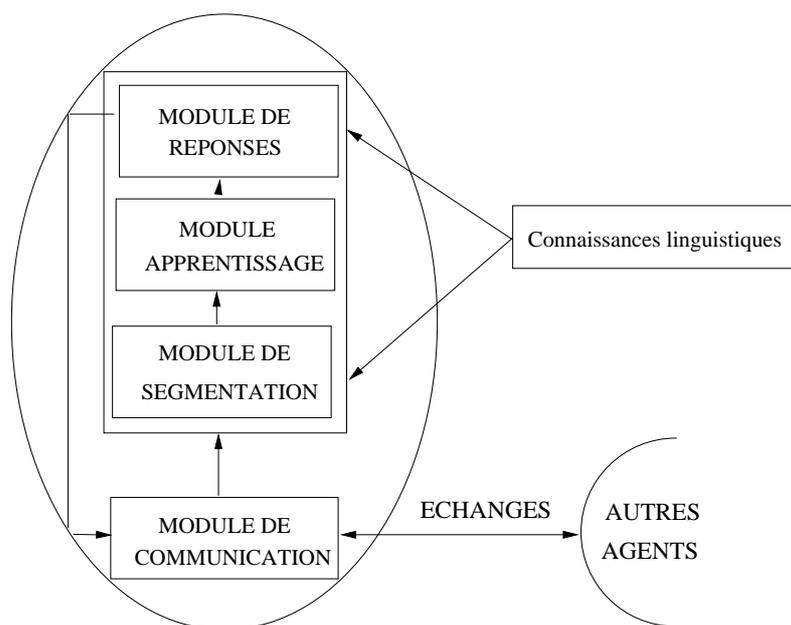


FIG. 4.8 – Le module de prise de décision d'un apprenant

Pour ce qui est du **module de segmentation**, il permet de dégager l'expéditeur du message ainsi que son contenu. A ce stade, aucune analyse linguistique sur le contenu du message est réalisée puisque cette tâche est endossée par le module d'apprentissage. Néanmoins, comme le montre la figure 4.8, certaines connaissances linguistiques sont utilisées d'une part, pour dégager tous les éléments clés du message, et d'autre part pour identifier le type de message dont il s'agit (*i.e.* Est-ce un message envoyé entre les participants? Est-ce une réponse formulée pour sa question? Est-ce un renseignement envoyé par le conseiller?). En effet, nous considérons que selon le type de message reçu, la réponse à

apporter est différente et le stimuli interne envoyé au module d'apprentissage est également distinct (nous renvoyons le lecteur au paragraphe 4.3.2 pour plus de détails sur les types de stimuli présents au sein d'un agent).

Prenons un exemple pour démontrer l'intérêt de ce module. Supposons que deux professeurs, David et James, parlent d'un problème sur le rayon d'un cercle. David va envoyer un message à James lui disant : « *Tu as entièrement raison James. Si je comptabilise quatre fois le rayon, j'obtiendrai bien 480. Par contre, je ne vois pas où est mon erreur, peux-tu m'aider ?* ». Cette affirmation est également transmise à l'apprenant afin d'être analysée et suit le parcours suivant au niveau du module de segmentation :

1. Réception du message en provenance du module de communication
2. Décomposition du message grâce aux connaissances linguistiques
3. Lecture du nom de l'expéditeur (David), du récepteur (James) et du contenu du message (Tu as entièrement raison James. Si je prends quatre fois le rayon, j'obtiendrai bien 480. Par contre, je ne vois pas où est mon erreur dans ce problème, peux-tu m'aider?)
4. Identification du type de message (message entre deux participants qui implique une analyse du contenu au niveau du module suivant)
5. Transmission de ces éléments au module d'apprentissage via un stimuli spécifique

Pour ce qui est du **module d'apprentissage**, il va de soi qu'il permet à l'apprenant non seulement d'évoluer mais également d'enrichir ses connaissances personnelles. Nous avons d'ailleurs évoqué cette idée, lors de l'introduction du chapitre 2, en affirmant que l'apprentissage permet l'acquisition de connaissances et le développement de chaque individu. Nous l'avons également repris en début du paragraphe 3.2 en relatant qu'un système est qualifié d'apprenant lorsqu'il détient de nouvelles connaissances et devient, de ce fait, plus performant. Ce module reste donc dans cette logique et argumente également en ce sens. Bien entendu, à l'image d'un processus d'acquisition humaine, il doit utiliser toutes les connaissances à la disposition de l'apprenant (connaissances linguistiques, connaissances sur les participants, connaissance sur la confiance) pour être pleinement efficace (nous n'avons volontairement pas représenté ces connaissances sur la figure 4.8 afin de la rendre plus lisible).

De manière pratique, ce module se décompose en deux étapes : une étape d'analyse textuelle et statistique accompagnée d'un calcul de confiance et une étape d'apprentissage véritable des nouveaux mots. Nous verrons, bien entendu, beaucoup plus en détails ces étapes dans le chapitre 5 qui leur est entièrement consacré. Cependant, afin d'illustrer quelque peu le fonctionnement de ce module, nous allons poursuivre le cheminement de la réponse apportée à James dans l'exemple précédent.

1. Réception des informations en provenance du module de segmentation
2. Envoi du contenu du message à l'analyseur textuelle et statistique du module d'apprentissage
3. Stockage de toutes ces renseignements dans une base de données
4. Attente d'un nouveau message à analyser

Dans cet exemple, il est à noter qu'aucune réponse n'est transmise au module de réponses puisqu'il s'agit d'un message en provenance d'un participant et dont le destinataire est un autre participant. Par conséquent, seule une analyse est requise dans ce cas précis. Nous avons justement abordé, précédemment, le fait que plusieurs sortes de messages sont interceptées par l'apprenant et qu'ils ne disposent pas tous du même traitement.

Le **module de réponses** permet de fournir une réponse appropriée au message envoyé à l'apprenant avant de la transférer au module de communication. Il produit essentiellement deux types de réponses : des messages indiquant au conseiller la prise en compte de ses informations (lors du départ ou de l'arrivée d'un nouvel arrivant) et des questions formulées lors de sa demande sur la signification d'un mot. Ces indications sont émises soit en français soit en anglais, selon la langue utilisée dans l'environnement simulé et utilisent, par conséquent, les connaissances en linguistique les plus appropriées. Donnons deux exemples de cheminement de ces messages pour illustrer un peu nos propos. Supposons, en premier lieu, qu'un message signalant l'arrivée d'un nouveau participant arrive à destination de l'apprenant. Au niveau du module de réponses, cela se traduit par :

1. Réception des informations de la part du module d'apprentissage (dans ce cas précis, il s'agit tout simplement d'une mise à jour des accointances concernant un participant)
2. Formulation d'une réponse grâce aux connaissances linguistiques (de type « *J'ai pris note que James est un nouvel arrivant* ». Remarquons qu'il s'agit du même type de réponse que produit le module réponse/action d'un participant)
3. Définition du destinataire (le conseiller)
4. Envoi au module de communication qui fait parvenir le message à destination

Deuxièmement, si le message correspond à une requête portant sur la signification d'un nouveau mot, la réponse proposée est plutôt de type :

1. Réception des informations de la part du module d'apprentissage (*i.e.* Émettre une question pour la demande de signification à James du terme rayon, par exemple)
2. Formulation de la question grâce aux connaissances linguistiques (de type « *Qu'est-ce qu'un rayon ?* »)
3. Définition du destinataire (James)
4. Envoi au module de communication qui fait parvenir le message à destination

Concernant l'apprenant, nous avons donc vu jusqu'à présent son fonctionnement interne et les différentes interactions qu'il peut avoir avec les autres agents présents dans l'environnement. Nous nous sommes également intéressés aux connaissances de base qui lui sont nécessaires pour évoluer dans sa démarche d'apprentissage. A ce stade, nous avons essayé de donner au lecteur un maximum de détails au niveau de cet agent afin qu'il puisse se rendre compte des différences et similitudes avec un participant et du rôle qu'il a à jouer dans un environnement. Ainsi, nous nous sommes rendus compte que les réponses qu'il apporte sont grammaticalement simples mais qu'au contraire, son processus d'apprentissage et d'acquisition de nouvelles connaissances est plus élaboré et prédomine pour cette sorte d'agent. Nous allons donc analyser plus en détails les caractéristiques d'un apprenant.

Caractéristiques d'un apprenant

Dans le paragraphe 3.2.5, nous avons abordé une discussion sur l'apprentissage dans les systèmes multi-agents et avons conclu, que trois caractéristiques importantes (en particulier sur l'environnement, la communication et les caractéristiques des agents) doivent être évoquées dès que nous parlons de ce processus. C'est sur ce point que nous allons nous concentrer dans cette section.

Dynamisme et autonomie Pour ce qui est du dynamisme de notre apprenant, nous considérons qu'il est dynamique durant la phase d'apprentissage dans la mesure où il doit être attentif à tous les événements pour pouvoir, ensuite, poser les bonnes questions aux bons moments et aux personnes les plus appropriées. De plus, son apprentissage lui permet fortement d'évoluer puisque chaque nouveau concept appris lui est bénéfique immédiatement et par la suite. Son ontologie prenant de l'importance, elle lui donne l'occasion d'acquérir plus d'expériences sur un sujet en particulier et de comprendre plus facilement les termes échangés. Enfin, l'apprenant peut facilement s'adapter à chaque changement de situation car son processus d'apprentissage peut être permanent et constant.

En ce qui concerne l'autonomie, l'apprenant n'est pas totalement autonome dans son processus d'apprentissage car ce sont les réponses que vont lui fournir les autres qui révéleront le positivisme de l'action. En effet, cet agent ne peut pas poursuivre l'objectif qu'il s'est fixé si aucun des participants ne collaborent avec lui et ne lui fournit les informations qu'il attend (un peu comme un enfant qui va, certes, apprendre de nouvelles choses en faisant des découvertes par lui-même mais ce sont surtout ses interactions avec les autres qui le font évoluer). Tous les agents doivent donc travailler de façon coopérative pour ne pas bloquer notre agent apprenant dans sa démarche d'apprentissage.

Communication et mémoire La communication, est, comme nous l'avons déjà évoqué, une notion clé dans la problématique de l'apprentissage. En ce qui concerne notre apprenant, elle joue, comme nous l'avons dit précédemment, un rôle primordial dans son processus puisque sans elle, l'agent ne peut apprendre. Il peut communiquer, à tout moment, avec tous les autres agents lors de la deuxième étape de son apprentissage (comme nous l'avons signalé dans le descriptif sur les fonctions de cet agent). Les informations échangées sont principalement de nature explicative car elles donnent une précision sur le concept demandé.

Pour terminer ce paragraphe sur les caractéristiques d'un agent, nous avons évoqué, lors de notre état de l'art sur les SMA, le fait qu'un agent peut avoir une mémoire. Pour notre agent apprenant, cette notion prend ici toute son importance puisqu'elle lui permet de se souvenir des termes appris et de les réutiliser ensuite. Nous considérons que notre apprenant dispose d'une mémoire à long terme car il enregistre et mémorise les actions qu'il a apprises avant de pouvoir s'en servir. D'ailleurs, il est intéressant de noter que cette distinction entre mémoire à court terme et à long terme existe aussi chez les êtres humains et nous permet aussi bien de retenir la date d'un rendez-vous juste avant de l'inscrire dans notre agenda que de se souvenir de son adresse et de son nom de façon permanente. Généralement, il est vrai que les choses que nous considérons comme importantes et indispensables à notre développement, ont tendance à être mémorisées de façon irrémédiable (comme le fait d'apprendre à marcher). Ceci confirme donc notre volonté de doter notre apprenant d'une mémoire à long terme plutôt qu'à court terme, même si pour un programme informatique, contrairement à un individu, des problèmes de saturation d'éléments appris peuvent se faire ressentir...

Comme pour les participants, nous allons, dès à présent, nous préoccuper du cycle de vie d'un apprenant.

Cycle de vie d'un apprenant

L'objectif d'un apprenant étant l'acquisition de nouveaux concepts, son cycle de vie est en adéquation avec le but fixé. Dès lors, nous considérons que ce cycle est initialisé par

l'envoi d'un message de bienvenue de la part du conseiller, de la même façon que pour un participant. En effet, une fois le nouvel agent identifié en tant qu'apprenant auprès du conseiller, il doit attendre un certain type de message pour initialiser son propre processus d'apprentissage. De manière plus synthétique, l'initialisation d'un apprenant se fait de la façon suivante :

1. Envoi des informations personnelles et professionnelles de l'apprenant au conseiller
2. Attente de la réponse du conseiller
3. Réception d'un message de bienvenue via le module de communication
4. Renvoi du récépissé du message de bienvenue au conseiller
5. Activation du module de prise de décision avec la réception de tous les messages envoyés entre les participants

Les participants sont, bien entendu, mis au courant de l'arrivée d'un apprenant avec l'envoi, par le conseiller, d'un message de type « *Arrivée de l'apprenant Pierre* ». Ceci leur permet, entre autre, de noter que tous leurs messages doivent, dorénavant, être envoyés en double à l'apprenant afin qu'il puisse les analyser et les comprendre.

Concernant la fin du cycle de vie de l'apprenant, celui-ci se termine lorsque son cycle d'apprentissage est fini et que tous les nouveaux mots contenus dans sa base de données sont acquis. Cependant, nous avons décidé de lui accorder un temps supplémentaire avant qu'il ne quitte définitivement son statut d'apprenant afin qu'il puisse écouter une nouvelle conversation et décider s'il doit ou non apprendre de nouveaux mots susceptibles d'être indispensables à son statut de participant. Toutes ces étapes se traduisent de la manière suivante :

1. Envoi d'un message de retrait du statut d'apprenant au conseiller (message de type : « *Fin de mon apprentissage. Je souhaite maintenant devenir participant* »)
2. Attente de la réponse du conseiller
3. Réception d'un message de bienvenue en tant que participant via le module de communication
4. Renvoi du récépissé du message de bienvenue au conseiller

L'apprenant peut également décider de quitter définitivement l'environnement une fois l'ensemble des nouveaux concepts acquis. Il envoie, dans ce cas, le message « *Fin de mon apprentissage* » au conseiller qui informe les autres participants du départ définitif de cet agent.

Enfin, nous n'excluons évidemment pas le fait qu'une fois le « titre » de participant obtenu, il puisse à nouveau devenir apprenant pendant un certain temps s'il se rend compte que les termes qu'il a acquis ne suffisent pas pour communiquer avec les autres (*i.e.* Les messages qu'il envoie aux participants sont incompris par ces derniers qui en informent non seulement le conseiller mais également l'agent concerné). Dans ce cas, il enverra le message « *Je redeviens apprenant* » au conseiller qui en avisera les autres agents.

La description de l'apprenant étant achevée, nous allons maintenant nous préoccuper de la dernière sorte d'agent présente dans notre environnement : le conseiller.

4.3.4 Le conseiller

Nous avons, tout au long de ce chapitre, souvent évoqué le nom de conseiller lors de la description de nos deux autres sortes d'agents sans pour autant entrer dans les détails du

rôle de cet agent, qui peut être assimilé, en quelque sorte, au *Scheduleur* que l'on retrouve souvent dans les systèmes multi-agents. Nous n'avons, volontairement, pas repris ce vocabulaire dans notre modèle puisque nous considérons que cet agent a bien plus qu'un rôle de planificateur dans notre environnement en régulant non seulement le système mais en conseillant également si nécessaire.

Si l'on essaye de faire un parallèle avec l'exemple que nous avons suivi tout au long de ce chapitre, le conseiller est assimilé à un directeur d'établissement qui connaît chacun des professeurs (aussi bien personnellement que sur ses aptitudes et compétences professionnelles) mais est aussi chargé de faire respecter une certaine bonne entente entre tous, que se soit lors de réunions ou de conseils de discipline.

De plus, l'idée d'introduire un conseiller dans notre modèle suit les travaux de Vygotsky sur l'apprentissage et plus particulièrement ceux sur la notion d'échafaudage (nous renvoyons le lecteur au paragraphe 2.1.4 pour de plus amples renseignements sur cette notion). En effet, l'échafaudage représentant un jeu de relations entre différents individus collaborant à l'actualisation des ressources intérieures, il fait directement référence à l'aide donnée par une personne plus expérimentée à un apprenant afin de lui apporter un soutien gradué en fonction de ses compétences. C'est exactement ce que nous voulons simuler avec notre conseiller.

Comme pour les autres agents, nous détaillerons successivement les connaissances de base de cet agent ainsi que ses fonctions et son cycle de vie. Mais, nous allons commencer par revenir un peu plus en détail sur ses rôles.

Rôles d'un conseiller

La notion de rôle en tant que telle renvoie à une réalité assez courante de toute société actuelle. En effet, chaque jour, toute personne est amenée à endosser un certain nombre de rôles en fonction de sa position sociale, ce qui l'incite à toujours avoir un modèle stéréotypé de conduite à tenir et suscite aussi des obligations. Même si ces rôles peuvent parfois apparaître comme des corsets contraignants et artificiels qui entravent des libertés d'action, ils ont tout de même pour fonction de normaliser et stabiliser les relations entre personnes, de définir un cadre de référence permettant aux individus de se repérer dans une situation. C'est en nous basant sur cette réflexion que nous avons essayé d'établir le plus précisément possible les rôles de notre conseiller dans notre environnement. Nous lui avons pour cela, attribué trois sortes de rôles : un rôle de guide, un rôle dirigeant et un rôle de régulateur.

Le rôle de guide Le terme de guide étant pour nous synonyme d'accompagnateur pour l'apprenant, le conseiller représente forcément la personne la plus expérimentée du domaine. En effet, il est le seul à connaître non seulement toutes les fonctions qui peuvent être exercées au sein de l'environnement dans lequel il se situe (il sait, par exemple tous les grades qui existent dans le domaine médical) mais également tous les renseignements indispensables sur une personne. A partir de cela, il peut échafauder (pour reprendre le vocabulaire de Vygotsky) l'apprentissage de l'apprenant en lui apportant les éléments utiles et indispensables à son objectif, plus particulièrement lorsque celui-ci entre dans l'environnement. En effet, le principal but dans ce rôle est d'arriver à aider l'apprenant pour qu'il soit en mesure d'exercer seul ses compétences. Il ne doit en aucun cas l'influencer dans ses décisions mais plutôt lui donner toutes les informations clés lui permettant d'élaborer son propre point de vue sur chacune des personnes l'entourant. Il est tenu de

rester le plus neutre possible tout en faisant comprendre à l'apprenant qu'il est la seule personne compétente pour l'aider dans son processus d'apprentissage.

Le rôle de dirigeant Au fur et à mesure de l'arrivée de nouveaux agents, le conseiller analyse rapidement leurs parcours professionnels pour déterminer s'ils doivent passer par une phase d'apprentissage. Il est donc tenu de diriger (dans le sens d'orienter) chacun et d'essayer de lui trouver la place la plus appropriée. Pour se faire, il regarde la dernière fonction exercée par cette personne (est-elle ou non en adéquation avec le domaine simulé?) ainsi que son nombre d'années d'ancienneté (dispose-t-elle de plus d'un an d'ancienneté dans cette fonction?) pour déterminer sa capacité à communiquer avec les autres. Au niveau de ce rôle, le conseiller peut-être finalement assimilé à un recruteur dont l'objectif est de déterminer rapidement (simplement à la lecture d'un CV) si une personne est apte ou non à exercer la fonction visée. Pour que ce rôle fonctionne pleinement, il faut, bien entendu, que tous les agents présents soient coopératifs et fassent entièrement confiance au conseiller et à ses capacités à évaluer un agent. De toute façon, aucune décision prise par le conseiller ne peut être remise en cause par un participant qui sait, pertinemment, qu'il se situe face à un agent beaucoup plus qualifié et expérimenté que lui. De même, le conseiller ne peut remettre en question les renseignements apportés par un nouvel agent (même s'il se rend compte au cours d'une conversation qu'il aurait dû passer dans un premier temps par un processus d'apprentissage) qui lui fait donc entièrement confiance. Dès lors, la notion de confiance réciproque est importante dans notre modèle qui ne peut fonctionner dans une situation non coopérative.

Le rôle de régulateur A la manière d'un *Scheduleur*, le conseiller a pour rôle de réguler les conversations au sein de l'environnement. Cela passe donc par un certain nombre d'actions à réaliser :

- Initialiser le processus de dialogue entre les participants
- Prendre garde au bon fonctionnement du système (*i.e.* que chaque participant puisse dialoguer à sa guise quand il l'entend)
- Surveiller tous les départs et toutes les arrivées d'agents
- Contrôler l'arrivée de tous les messages envoyés à leur destinataire
- Veiller à ce que chaque participant envoie bien un double de son message à l'apprenant
- S'assurer que tous les participants sont bien coopératifs avec l'apprenant et lui fournissent une réponse appropriée à ses questions
- Évaluer si un nouveau participant mérite encore d'être apprenant en analysant la pertinence de ses réponses et de ses questions (cela se concrétise en analysant si un participant a appris correctement tous les nouveaux concepts, autrement dit, en regardant l'adéquation de son ontologie avec celle du conseiller)
- Vérifier qu'un certain temps d'apprentissage est respecté par l'apprenant avant qu'il ne devienne participant
- Clôturer le processus de dialogue entre les participants

Comme nous pouvons le constater, le rôle de régulateur occupe une place relativement importante pour le conseiller qui est le seul à pouvoir l'exercer et qui lui incombe, ainsi, une grande responsabilité vis-à-vis des autres. L'énumération de ses différents rôles étant réalisée, nous allons nous intéresser à ses connaissances que nous avons déjà tenté d'introduire dans ce paragraphe.

Connaissances d'un conseiller

Comme pour les autres agents, le conseiller détient un certain nombre de connaissances qui sont, cependant, beaucoup moins importantes que pour un apprenant ou un participant puisque son rôle principal est de réaliser de la surveillance et du contrôle sur le système. Néanmoins, il possède trois sortes de connaissances : **des connaissances linguistiques**, **des connaissances sur les participants** et **des connaissances de contrôle**.

Les connaissances linguistiques Nous considérons par ce terme que le conseiller dispose de tous les éléments utiles pour comprendre et répondre aux autres agents en langage naturel. Bien entendu, ces connaissances ne sont pas aussi élaborées que celles d'un apprenant où une analyse textuelle est effectuée pour comprendre chaque phrase prononcée par un participant, mais elles lui permettent de répondre aux sollicitations de chacun et d'effectuer la requête demandée. A l'image de l'apprenant et du participant, ces connaissances s'exécutent sur un dialogue en anglais ou en français et lui donnent ainsi l'occasion de pouvoir s'exprimer dans ces deux langues.

Il est à noter que cet agent possède également une ontologie en adéquation avec le domaine simulé puisqu'il représente l'expert du domaine et qu'il serait assez illogique de ne pas le doter de ce type de connaissances. Toutefois, contrairement à nos deux autres sortes d'agents qui sollicitent régulièrement cette compétence, le conseiller se sert très rarement de son ontologie puisque son objectif n'est ni de prendre part à la conversation des participants, ni d'aider l'apprenant dans son processus d'apprentissage de nouveaux concepts, mais plutôt de veiller à la bonne entente et au bon fonctionnement du système. C'est pour cette raison que nous incluons ces connaissances dans les connaissances linguistiques et que nous les représenterons jamais explicitement lors de la description du fonctionnement de cet agent.

En ce qui concerne l'envoi et la réception de messages, la majorité des messages reçus sont des récépissés en provenance d'autres agents issus, soit de l'envoi de message de bienvenue soit d'informations relatives à l'arrivée ou du départ d'un agent. Les messages émis sont grammaticalement simples puisqu'il s'agit de messages d'information ou de messages de bienvenue. Cependant, lors de l'arrivée d'un nouvel apprenant, le message est un peu plus spécifique puisqu'il contient tous les renseignements relatifs aux agents présents.

Les connaissances sur les participants Ces connaissances représentent, d'une part, le fait que le conseiller dispose de toutes les informations personnelles et professionnelles sur les agents présents dans l'environnement (aussi bien sur les participant que sur l'apprenant). D'autre part, elles montrent le degré d'expertise du conseiller vis-à-vis du domaine dans lequel il se situe. En effet, elles regroupent aussi toutes les connaissances relatives aux spécificités engendrées par l'environnement autour duquel se déroule la simulation. Prenons un exemple pour illustrer un peu ces propos. Supposons une conversation entre différents médecins au cours de laquelle un professeur représente le conseiller. Nous appelons connaissances de domaine le fait que cette personne connaisse les différents grades qui existent au sein de ce corps de métier, les différents rôles que chaque grade doit jouer, les différents degrés d'expérience que l'on peut trouver ainsi que les relations sociales qui peuvent être plus ou moins facilement établies (*i.e.* deux médecins établiront plus rapidement un lien de confiance entre eux, du fait de la similitude de leur grade, plutôt qu'avec une aide soignante, par exemple). Ces connaissances lui sont particulièrement utiles lors de la détermination de la fonction d'un agent à son arrivée (*i.e.* Doit-il être considéré

comme un participant ou comme un apprenant?) et lui permettent même de se faire rapidement une idée sur les possibilités de chacun. Nous rappelons que ces connaissances ne doivent pas influencer l'apprenant lors de sa prise de décision dans la mesure où celui-ci ne peut demander l'avis du conseiller en matière de classification des agents mais doit simplement récupérer toutes les informations les concernant afin de se faire lui-même sa propre idée.

Nous estimons que ces connaissances sont relativement spécifiques à cet agent et lui permettent ainsi d'exercer une certaine influence sur les autres. Pour cela, nous nous appuyons sur deux types de travaux en psychologie : ceux de Vygotsky qui avancent le fait que l'apprentissage d'un individu ne peut se faire que grâce à la présence d'une personne plus expérimentée sur un sujet en particulier (voir paragraphe 2.1.4 pour plus de précisions) et ceux de Kurt Lewin sur la dynamique de groupe (voir chapitre 2.3.2 pour plus de détails). En effet, pour Lewin un groupe possède indéniablement un *leadship* de style démocratique qui exerce une certaine influence sur les individus, tout en les écoutant et en leur proposant des solutions en fonction de leurs objectifs. Comme pour notre conseiller, pour que ce style de leader soit respecté par tous, il doit tout de même posséder des connaissances sur les autres mais également sur l'environnement attenant.

Les connaissances de contrôle Ces connaissances permettent d'exercer un contrôle sur les autres et sur l'environnement de manière plus général, comme nous avons pu le remarquer dans la description du rôle de régulateur. Elles lui procurent la possibilité d'agir directement sur chacun des agents et de décider de leurs aptitudes à être présent ou non dans l'environnement. Pour cela, nous avançons le fait que le conseiller agit avec rationalité dans ses décisions dans la mesure où il reste cohérent dans ses objectifs. Par exemple, il décidera dès le départ que tous les agents de moins d'un an d'expérience doivent passer par un stade d'apprentissage et ce, quelque soit leur grade. Ces connaissances sont très fortement liées aux connaissances sur les participants et renforcent même son rôle de *leadship*.

Quant à la surveillance au niveau des messages, le module de communication (que nous verrons juste après) est chargé de récupérer périodiquement tous les messages circulant dans le système. Il permet ainsi au conseiller de veiller à ce que chaque participant ait les mêmes occasions de parler et qu'aucun apprenant ne puisse prendre part à une discussion. Tous ces messages sont analysés par le conseiller avant d'être détruits afin de ne pas surcharger sa base de données (de plus, nous pensons qu'il est absolument inutile de les garder durant un laps de temps pour une utilisation ultérieure).

Nous avons décrit, jusqu'à présent, les différents rôles exercés par le conseiller ainsi que ses connaissances de base. Nous avons vu qu'elles sont peu nombreuses (au nombre de trois) mais spécifiques à cet agent.

Nous allons, maintenant, nous attarder sur ses fonctions, en particulier en ce qui concerne les mécanismes du module de communication et celui de prise de décision.

Fonctions d'un conseiller

Comme pour les participants et l'apprenant, le conseiller communique via son module de communication et raisonne (ou plutôt produit des réponses) avec son module de prise de décision. Même si ces modules ont un intérêt plus limité que pour l'apprenant, nous allons tout de même les détailler.

Le module de communication À l'image des autres agents, il n'est pas du tout surprenant de retrouver, dans ce module, tous les mécanismes d'interactions indispensables aux échanges avec les autres agents mais également avec le module de prise de décision. Cependant, il dispose également de capteurs spécifiques (qui réagissent donc à des stimuli spécifiques) chargés de récupérer périodiquement tous les messages échangés afin de veiller au bon fonctionnement du système comme le montre le graphique 4.9:

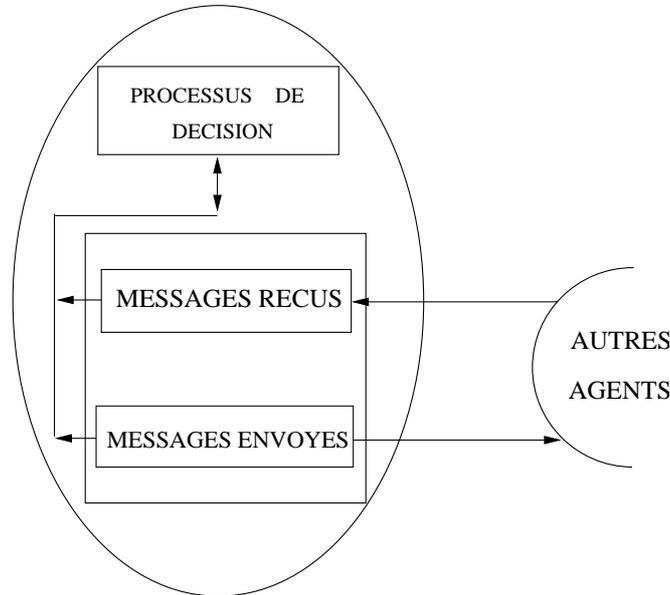


FIG. 4.9 – *Le module de communication d'un conseiller*

De façon plus générale, ce module ne nécessite pas de connaissances particulières puisqu'il a pour objectif de :

- Réceptionner les messages en provenance des participants et de l'apprenant. Ces messages sont soit des identifications (renseignements personnels et professionnels donnés à l'arrivée), soit des informations (ex : un agent notifie qu'il change de statut), soit des accusés de réception de messages envoyés ou soit des questions de la part de l'apprenant concernant les personnes présentes dans l'environnement.
- Envoyer des messages à tous les agents. Ces messages peuvent être informatifs (ex : arrivée d'un nouveau participant), d'initialisation ou de clôture du système, directifs (ex : obligation pour un apprenant de garder son statut pendant encore un certain temps) ou explicatifs (ex : envoi des informations à l'apprenant sur un agent présent).

Tous ces messages sont traités par ordre d'arrivée par le conseiller qui les stocke en attendant d'être analysés par le module de prise de décision. Avant de nous intéresser à ce module à proprement parler, nous allons donner deux exemples (sur la base des exemples donnés lors de la description de l'apprenant) de cheminement suivi par un message dans le module de communication. Prenons le cas de l'arrivée d'un nouveau professeur de mathématiques qui décide de prendre part à la conversation entre David et James sur leur problème de rayon. Il va donc envoyer au conseiller le message suivant : « *Bonjour, je m'appelle Lucas, je suis professeur de mathématiques depuis 15 ans et j'habite en Savoie* ». Au niveau du module de communication, cela se manifeste par :

1. Réception du message du nouvel arrivant
2. Envoi du message au module de prise de décision

3. Envoi d'un message d'attente, de type « *Bonjour, veuillez patienter quelques instants* »

Une fois toutes les informations validées par le conseiller, celui-ci va envoyer un message de bienvenue à Lucas qui se traduit par :

1. Réception du message en provenance du module de prise de décision
2. Envoi du message au nouveau participant (exemple de message : « *Bienvenue dans l'environnement ALONE en tant que participant* »)
3. Attente du récépissé

Une toute petite précision avant de terminer la description de ce module. Nous avons évoqué le fait que les messages sont traités par ordre d'arrivée, ceci est vrai pour tous les messages hormis les messages envoyés entre participants qui disposent d'un traitement spécial et qui sont traités par le conseiller après les autres messages.

Le module de prise de décision Il permet au conseiller non seulement de comprendre les messages qui lui sont envoyés et répondre en langage naturel mais aussi de se fabriquer une base de connaissances sur tous les agents présents dans l'environnement afin de pouvoir mieux veiller au bon déroulement du système. Comme pour l'apprenant, ce module se décompose en trois sous modules : **un module de segmentation**, **un module de raisonnement** et **un module de réponses** comme nous pouvons le découvrir sur la figure 4.10.

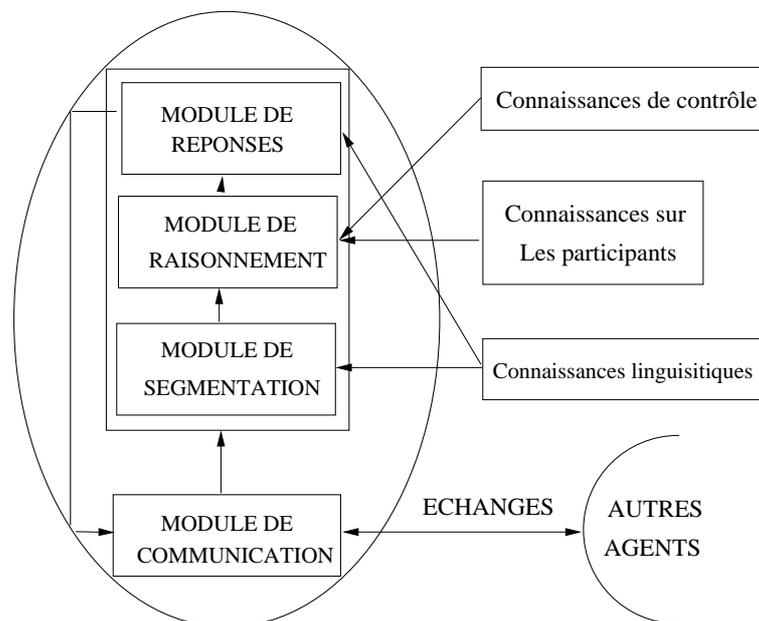


FIG. 4.10 – Le module de prise de décision d'un conseiller

Reprenons plus en détail chacun de ces sous modules.

Le **module de segmentation** permet de dégager tous les éléments du message (l'expéditeur, le contenu) afin d'être en mesure de les analyser par la suite. Il utilise, bien entendu, des connaissances linguistiques indispensables à la compréhension du langage naturel et à la segmentation du message. Il ne s'agit évidemment pas d'une véritable analyse de contenu comme peut le faire l'analyseur textuelle de l'apprenant mais tout simplement d'un outil pour délimiter les éléments clés avant de les transférer au module de raisonnement. Pour

illustrer ce processus, nous allons reprendre l'exemple précédent concernant l'introduction de Lucas. Son message était le suivant : « *Bonjour, je m'appelle Lucas, je suis professeur de mathématiques depuis 15 ans et j'habite en Savoie* » ce qui se traduit au niveau de l'analyseur du conseiller par :

1. Réception du message en provenance du module de communication
2. Décomposition du message grâce aux connaissances linguistiques
3. Lecture du nom de l'expéditeur (Lucas) et du contenu du message (Bonjour, je m'appelle Lucas, je suis professeur de mathématiques depuis 15 ans et j'habite en Savoie)
4. Identification du type de message (message indiquant le désir d'un nouveau participant d'entrer dans l'environnement ce qui implique d'enregistrer tous les renseignements clés au niveau du sous-module suivant)
5. Décomposition du contenu (nom = Lucas, Grade = Professeur de mathématiques, Ancienneté = 15 ans, Résidence = Savoie)
6. Transmission de ces éléments au module de raisonnement via un stimuli spécifique

Au niveau du **module de raisonnement**, il utilise les connaissances sur les participants et les connaissances de contrôle afin d'enregistrer un nouvel entrant au niveau de sa base de connaissances et de guider ce dernier vers un rôle lui correspondant. Ce module produit également tous les outils nécessaires au contrôle du système en prenant note, entre autre, des temps de parole de chacun. De manière générale, c'est au niveau de ce module que sont stockées toutes les informations relatives au système et à tout son fonctionnement que ce soit depuis l'initialisation jusqu'à la fin de la simulation. L'ensemble de ces données est régulièrement actualisé et certaines sont même supprimées lorsqu'elles ne sont plus utilisées (départ d'un agent, par exemple, qui entraîne la suppression de toutes les informations) pour exploiter au maximum les possibilités du système et ne pas saturer la base de données du conseiller.

Reprenons le cheminement du message précédent au niveau de ce sous-module :

1. Réception des informations en provenance du module de segmentation
2. Activation de la base de données relative aux agents présents
3. Enregistrement de tous les renseignements concernant Lucas
4. Détermination du type de fonction qu'exercera Lucas dans l'environnement (dans ce cas précis, compte-tenu de son grade et son ancienneté ce sera un participant)
5. Transmission de ces éléments au module de réponses

Enfin, le **module de réponses**, procure une réponse appropriée au message envoyé avant de la transmettre au module de communication. Il a recours aux connaissances linguistiques afin de formuler une réponse en langage naturel compréhensible par tous. Il produit plusieurs catégories de messages qui restent, généralement syntaxiquement simples. La preuve en est avec le message de bienvenue formulée à Lucas :

1. Réception des éléments de réponse en provenance du module de raisonnement
2. Formulation d'une réponse grâce aux connaissances linguistiques (exemple : « *Bienvenue dans l'environnement ALONE en tant que participant* »)
3. Définition du destinataire (Lucas)
4. Envoi au module de communication qui fait parvenir le message à destination

Pour le conseiller, nous avons vu, jusqu'à présent les rôles qu'il peut exercer ainsi que le fonctionnement de ses modules internes. Nous avons donc compris que, contrairement

aux deux autres classes d'agents, ses connaissances en linguistique sont limitées mais qu'il possède, au contraire, toutes les aptitudes à réguler et veiller au bon fonctionnement du système. Son module de raisonnement est ainsi la partie la plus développée de cet agent.

Cycle de vie d'un conseiller

Comme nous l'avons souvent souligné tout au long de la description du conseiller, cet agent est le premier à être créé au sein du système et il est donc tout à fait logique que son cycle de vie coïncide avec le début et la fin de la simulation. De ce fait, le cycle de vie du conseiller est initialisé à la formation de l'environnement et dès l'arrivée d'un nouvel agent dans le système. De manière algorithmique, ceci se traduit par :

Début du cycle de vie

Tant que Environnement actif (nous entendons par environnement actif le fait que le conseiller reçoive des messages de la part des autres agents ou analyse ceux qui ne lui sont pas adressés)

1. Activer le module de communication en recevant des messages
2. Activer le module de prise de décision lors de la transmission des messages en provenance du module de communication

Fin Tant que

Fin du cycle de vie

Comme nous pouvons le percevoir au travers de cet algorithme, cet agent termine son cycle de vie lorsque tous les agents se sont retirés de l'environnement et qu'il n'y a plus de messages à analyser. En conséquence, nous n'incluons pas de limite de temps à notre conseiller qui peut, finalement, rester actif tant que deux participants discutent entre eux. Il va de soi que s'il ne reste qu'un seul agent dans l'environnement et que celui-ci est inactif (*i.e.* Il n'envoie plus de messages à personne), le conseiller n'a plus de raison d'être présent et clôturera, de ce fait, la simulation, en envoyant auparavant un message d'avertissement à l'agent encore présent (message de type : « *Fin de la simulation* »).

L'élaboration de ce cycle de vie ressemble, finalement, à celle du participant puisque c'est seulement lorsqu'un agent est présent dans l'environnement que le conseiller devient actif et prend conscience du rôle qu'il doit jouer. Nous nous appuyons donc, une nouvelle fois, sur les travaux du sociologue Mead que nous avons évoqués lors de la description du cycle de vie d'un participant et qui affirment qu'un individu prend conscience de lui-même lorsque les autres commencent à s'intéresser à lui.

4.4 Synthèse

Ce chapitre avait pour principaux objectifs de présenter les caractéristiques générales au niveau de notre environnement ALONE ainsi que de décrire les différents types d'agents que nous avons décidé de représenter. Nous nous sommes attachés, pour cela, à introduire plus de « social » dans notre modèle qui se devait d'être le plus proche possible des spécificités humaines tout en gardant, bien entendu, les particularités des systèmes multi-agents. Nous avons également essayé de dégager une représentation générale d'agent comprenant toutes les informations spécifiques à notre environnement, en ayant bien entendu conscience que chacun des modules présents peut être plus ou moins développé en fonction du type d'agent que nous avons. En conséquence, si nous reprenons le schéma

que nous avons réalisé en synthèse 3.1.3 et que nous l'adaptions à l'architecture finale et générale d'un agent ALONE, nous obtenons la représentation 4.11 suivante :

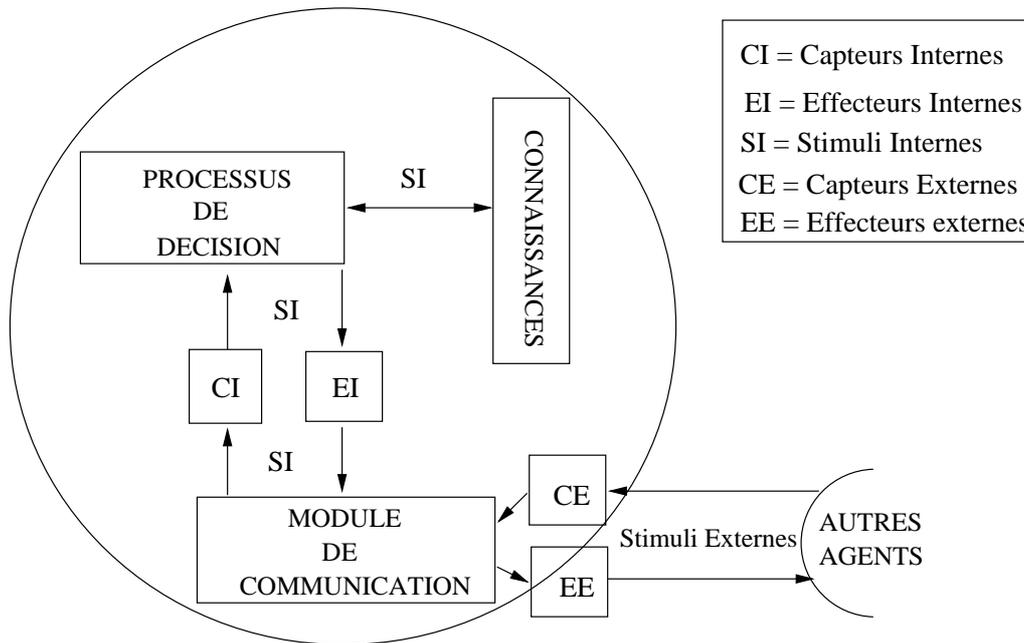


FIG. 4.11 – Architecture synthétique d'un agent ALONE

D'autre part, nous avons aussi repris dans cette synthèse, la définition de Foner que nous avons décidé d'adopter tout au long de cette thèse. Par la suite, nous allons la personnaliser en appliquant ses caractéristiques aux agents ALONE :

- **L'autonomie** : Tous les agents ALONE sont entièrement autonomes puisqu'ils ont chacun leurs propres initiatives dans leurs actions (gérées par le processus de décision) pour accomplir seuls leurs tâches. De plus, toutes les actions sont générées par les agents et non pas par une structure centralisée représentant l'environnement
- **La personnalisation** : Cette caractéristique est la seule qui incombe à l'agent apprenant dans la mesure où il est l'unique agent à pouvoir apprendre et évoluer au cours du temps. De par ce processus d'apprentissage, cet agent acquiert une certaine « personnalité » qui le rend différent des autres agents (il a ainsi non seulement des compétences sur le domaine simulé mais également sur un autre domaine grâce aux termes contenus dans son ontologie de départ)
- **La conversation** : Tout agent ALONE possède des capacités de communication avancées qui lui permettent d'interagir avec les autres, et qui ont la spécificité d'être en langage naturel. Grâce à cela, les conversations sont élaborées et permettent à chacun d'évoluer et de faire valoir ses opinions
- **La coopération** : Les différents agents collaborent tous entre eux afin de faciliter le processus d'apprentissage de l'apprenant. Chacun peut donc poser sa question librement et réagir en fonction de ses compétences

Dans ce chapitre, nous avons, d'autre part, fait découvrir au lecteur que notre environnement ne se base pas seulement sur un modèle unique d'agent mais sur trois catégories d'agents ayant leurs propres rôles et, de ce fait, leurs caractéristiques. Nous allons d'ailleurs les revoir rapidement :

- **Les participants** : Leurs principaux rôles sont d'établir un véritable dialogue avec

les autres participants de l'environnement et d'aider l'apprenant dans son processus d'apprentissage. L'ensemble de leurs communications se fait par envoi de messages rédigés en langage naturel soit à un agent en particulier soit à tous les agents présents. Ils possèdent comme connaissances de base, des connaissances linguistiques, des connaissances sur les participants, des connaissances terminologiques et des connaissances extérieures. Leurs décisions sont prises au niveau de leur module de Réponse/Action qui est la partie la plus développée pour ces agents. Leur cycle de vie est initialisé par l'envoi du message de bienvenue de la part du conseiller et se termine lors de l'envoi d'un message de retrait.

- **L'apprenant** : Son objectif est d'apprendre de nouveaux concepts, qui ne font pas partie de son ontologie initiale, lui permettant d'établir un dialogue avec le reste des participants. Toutes ses communications se font par l'envoi de messages, en langage naturel, aux participants les plus aptes à lui répondre. Il dispose comme connaissances de base, des connaissances linguistiques, des connaissances terminologiques, des connaissances sur les participants, des connaissances sur la confiance et des connaissances extérieures. Son module d'apprentissage est le coeur de son fonctionnement et le distingue, de plus, des autres agents. Son cycle de vie, comme pour le participant, est initialisé par l'envoi d'un message de bienvenue de la part du conseiller et se termine une fois que tous les nouveaux mots contenus dans sa base sont acquis.
- **Le conseiller** : Il a pour rôle de surveiller et réguler le système, mais également d'apporter à l'apprenant toutes les informations relatives aux agents présents dans l'environnement via l'envoi de message en langage naturel. Ses connaissances de base sont des connaissances linguistiques, des connaissances sur les participants et des connaissances de contrôle. Il bénéficie d'un module de raisonnement mettant à jour sa base de connaissances et disposant de toutes les informations relatives au fonctionnement du système. Son cycle de vie coïncide avec le début et la fin de la simulation puisqu'il est le premier agent à être créé et le dernier à être supprimé.

Comme nous l'avons formulé tout au long de ce chapitre, l'agent, finalement, le plus important dans notre modèle est l'agent apprenant puisqu'il dispose d'un fonctionnement particulier au niveau de son processus de décision, et est capable d'apprendre seul de nouveaux mots comme peut le réaliser un individu. De surcroît, c'est au niveau de cet agent, que nous avons introduit le plus d'éléments relatifs aux travaux en psychologie et sociologie, en particulier en ce qui concerne le déroulement de son processus d'apprentissage, comme nous allons le découvrir dans le chapitre suivant. Cet agent est, en définitive, pour nous, le plus proche de l'intelligence humaine puisqu'il analyse, filtre, décode et interprète une information avant de l'assimiler.

Chapitre 5

Décrire un comportement d'apprenant

« Il y a des choses que l'intelligence seule est capable de chercher, mais que par elle-même elle ne trouvera jamais. Ces choses, l'instinct seul les trouverait, mais ne les cherchera jamais. »

H. Bergson.

5.1 Introduction

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, nous allons maintenant nous intéresser à l'agent apprenant et à son processus d'apprentissage. En abordant le mot apprentissage, une question vient immédiatement à l'esprit du lecteur : que représente pour nous un processus d'apprentissage ? Et plus précisément encore, quelle signification adoptons-nous pour le terme apprentissage ? En effet, si nous regardons les définitions proposées par le dictionnaire Larousse [LAR00], l'apprentissage représente soit l'action d'apprendre (où apprendre est synonyme d'acquérir des connaissances) soit, d'une manière plus psychologique, la transformation du comportement ayant pour but d'accroître l'adaptation de l'être vivant à son milieu. De ce fait, compte-tenu de notre volonté de vouloir modéliser des comportements humains, nous adoptons plus spécifiquement la deuxième définition pour la suite de nos travaux. Néanmoins, nous gardons également à l'esprit la précision que nous avons apportée au début du paragraphe 3.2 concernant la différence entre les mots adaptation et apprentissage et affirmons que nous nous situons véritablement dans un processus d'apprentissage puisque notre agent acquiert de nouvelles connaissances et devient ainsi plus performant.

Cet aparté étant terminé, revenons à présent sur le fonctionnement du module de prise de décision d'un apprenant. Nous avons vu, dans le paragraphe 4.3.3, que ce module se compose de trois sous-modules : un module de segmentation chargé de décortiquer les messages reçus afin de séparer la rubrique « expéditeur » de la rubrique « contenu » (voir l'exemple de structure de nos messages paragraphe 4.3.2), un module de réponses fournissant une réponse appropriée au message envoyé et un module d'apprentissage, représentant le cœur de l'agent et lui permettant d'acquérir de nouvelles connaissances (représentées sous la forme d'une ontologie) en adéquation avec l'environnement simulé. C'est en particulier à ce troisième module, que nous avons peu développé précédemment, que nous allons nous intéresser maintenant.

Ce chapitre va s'attacher à présenter le déroulement du module d'apprentissage, en parti-

culier en ce qui concerne la succession de chacune des deux étapes que nous avons décidé de mettre en place. Ainsi, nous verrons que la première étape se compose d'une analyse textuelle et statistique de toutes les conversations entendues (ce que nous appelons « écoute passive » des conversations) ainsi que d'un calcul de confiance par participant, et que la seconde étape se caractérise par une mise à jour de l'ontologie (afin de la rendre plus adaptée au domaine simulé et d'acquérir ainsi un certain nombre de connaissances supplémentaires) en questionnant chaque participant sur la signification d'un mot. Nous terminerons ce chapitre par quelques détails techniques concernant l'ordonnement et l'exécution du processus d'apprentissage et concluons sur l'intérêt de notre approche.

5.2 Étape 1 : Écoute passive des conversations et calcul de confiance

5.2.1 Introduction

Dès son arrivée dans l'environnement ALONE et après s'être identifié auprès du conseiller, l'apprenant, de par son statut, bénéficie de la réception d'une copie des messages envoyés entre participants afin de percevoir et comprendre ce qui l'entoure et ainsi répondre aux questions suivantes : quel est le sujet des conversations ? Sur quels termes techniques discute-t-on ? Quelles sont les personnes concernées par ce discours ? Ont-elles des connaissances spécifiques et pointues sur le sujet proposé ?

Nous pensons que ce premier stade d'écoute passive d'une conversation est important pour un apprenant dans la mesure où il lui permet de prendre connaissance rapidement des personnes qui l'entourent et des spécificités techniques au niveau du vocabulaire employé dans ce domaine. D'ailleurs, l'élaboration de cette première étape du processus d'apprentissage se base plus spécifiquement sur les travaux d'Albert Bandura et son apprentissage social (voir paragraphe 2.1.3 pour plus de détails) qui considèrent que la plupart des comportements humains sont appris par observation permettant, en contre-partie, de dégager une idée sur la façon dont des comportements sont produits. Toutes ces informations sont, par la suite, codées et mémorisées pour être utilisées à bon escient le moment venu.

De manière schématique, si nous revenons sur la figure 4.8 en faisant un zoom sur le module d'apprentissage, nous obtenons l'enchaînement proposé dans la figure 5.1.

Ainsi, comme nous pouvons le percevoir, l'étape 1 du module d'apprentissage se compose d'une analyse textuelle sur le contenu du message, d'une analyse statistique sur chacun des termes (nous employons le mot « terme » au sens grammatical des choses plutôt que le mot « mot » puisque nous considérons qu'un terme est un mot assumant une fonction dans une phrase. En ce qui concerne le sens de ce mot au niveau d'une ontologie, en particulier lors de la mise à jour de l'ontologie, nous l'assimilerons au « labels » des concepts c'est-à-dire le nom de ces concepts) prononcé et d'un calcul de confiance pour chaque participant. Nous allons analyser plus en détail ces différents stades en essayant de reprendre l'exemple que nous avons développé tout au long du chapitre précédent, concernant une discussion entre deux professeurs de mathématiques (David et James) sur un problème relatif au rayon d'un cercle.

A l'issue du module de segmentation au niveau de l'apprenant, nous avons vu, dans le chapitre précédent, que le contenu du message est extrait de façon à bénéficier d'une analyse textuelle au sein du module d'apprentissage. C'est cette partie que nous allons aborder maintenant.

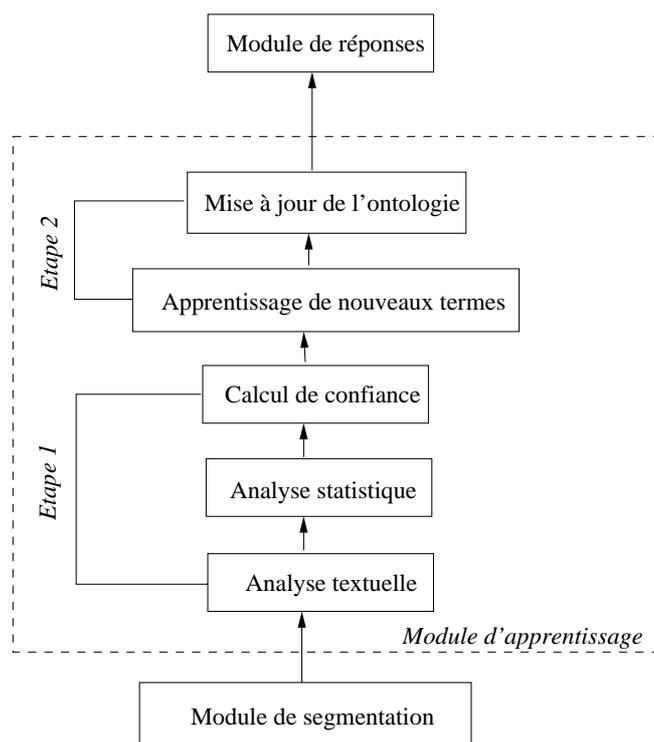


FIG. 5.1 – Détails du module d'apprentissage

5.2.2 L'analyse textuelle du module d'apprentissage

Contrairement au module de segmentation, l'analyse textuelle du module d'apprentissage se propose de réaliser un « traitement automatique du langage » simplifié au niveau de chaque phrase contenu dans le corps du message. Bien entendu, lorsque nous évoquons le traitement automatique du langage, nous faisons évidemment référence à tous les travaux développés actuellement en linguistique computationnelle et plus particulièrement dans le domaine du TALN (voir paragraphe 2.2 pour plus de précisions sur ce sujet). Comme nous l'avons d'ailleurs vu au cours de la partie consacrée à la linguistique, les outils créés pour analyser le contenu des phrases en langage naturel ne manquent pas, en particulier avec le développement de la recherche documentaire sur Internet. Cependant, leurs potentialités restent encore bien trop souvent limitées à cause de la difficulté à analyser le sens d'un terme dans un contexte particulier. De plus, après avoir regardé le fonctionnement de deux outils utilisant un TAL et plus ou moins adaptés à notre problématique (voir paragraphe 2.2.3), nous en avons conclu que ceux-ci étaient beaucoup trop spécifiques à leur domaine d'application et qu'il leur fallait un champs d'expertise assez large pour pouvoir être utilisés tel quel dans notre projet. Compte tenu de cela, nous avons décidé de construire notre propre outil de traitement du langage qui est chargé de séparer chaque terme contenu dans une phrase et de le stocker ensuite dans une base de données. Nous avons donc regardé quelques techniques utilisées en Text Mining et avons, à partir de cela, élaboré trois phases permettant d'extraire les données intéressantes : une phase de découpage de la phrase, une phase de nettoyage et une phase de traitement.

La phase de découpage : elle consiste, d'une part, à supprimer toute la ponctuation et d'autre part, à repérer les espaces contenus dans une phrase pour permettre de séparer chaque terme les uns des autres. Il s'agit, par conséquent, de découper chaque phrase en une succession de termes.

En ce qui concerne la suppression de la ponctuation, nous utilisons la table de ponctuation suivante (de façon pratique, cette liste est stockée dans une table d'une base de données Access ou Oracle comme nous pourrions le voir dans la description technique du logiciel située dans la partie 4 de cette thèse) :

.	;	({
,	:)	}
?	!	['
...	"]	-

Il est bien entendu possible, à tout moment, de rajouter de nouveaux signes de ponctuation à cette table et même de l'adapter en fonction de la langue du texte (par exemple, s'il s'agit d'un discours en espagnol, nous pourrions rajouter le signe de ponctuation « ¡ » qui se place généralement en début de phrase exclamative).

D'un point de vue plus algorithmique, cette phase s'exécute de la manière suivante :

1. Réception du contenu du message par le module de segmentation via un stimulus spécifique (voir paragraphe 4.3.2 pour plus de détails sur le fonctionnement des stimuli internes propres à chaque agent)
2. Connection à la table « ponctuation » de la base de données accessible par l'apprenant grâce à l'envoi d'un stimulus
3. Comparaison entre la ponctuation contenue dans la table et celle du contenu du message
4. Suppression de cette ponctuation
5. Déconnexion temporaire de la base de données
6. Passage des termes du corps du message à la phase de nettoyage

Prenons un exemple illustratif: Sur la phrase: « *Il fait beau!* », la phase de découpage donne une succession de trois mots: il fait beau

La phase de nettoyage: Tous les documents textuels doivent être expurgés le plus possible des informations inutiles qu'ils contiennent afin que les informations et connaissances retirées soient les plus pertinentes possible. En effet, dans chaque phrase écrite ou prononcée, de nombreux termes apparaissent apportant peu d'informations (voir aucune) sur le document concerné. Ces termes, nommés « *stops words* », sont souvent très fréquents dans un discours et leur élimination lors d'un pré-traitement permet par la suite de gagner beaucoup de temps lors de l'analyse linguistique à proprement parlée.

Nous avons donc établi deux listes de « *stops words* », l'une pour un discours en anglais et l'autre pour un discours en français, qui peuvent bien entendu être modifiées à tout moment puisqu'il s'agit de listes totalement indépendantes du programme multi-agents (nous verrons cela plus en détails et de manière plus technique dans la quatrième partie de cette thèse). Ces listes de « *stops words* » ont été validées par un linguiste mais il est également très facile de les trouver sur Internet (par exemple, sur le site <http://www.searchengineworld.com>).

En ce qui concerne, la liste de « *stops words* » pour un discours en anglais, nous en avons répertorié 377 et en voici un extrait :

about	after	all	already
according	again	almost	also
across	against	alone	always
among	an	and	...

Pour un discours en français, nous avons enregistré 309 « *stops words* » tels que :

a	aucun	avec	celle
à	aussi	avant	certain
ainsi	auquel	ce	cependant
alors	aux	ceci	comme
après	au	cela	...

Regardons un peu le déroulement algorithmique de cette phase :

1. Réception des termes issus de la phase de découpage via un stimulus spécifique
2. Connection à la table « *stops words* » de la base de données accessible par l'apprenant grâce à l'envoi d'un stimulus (cette base est la même que celle contenant la table de ponctuation)
3. Comparaison entre les « *stops words* » contenus dans la table et tous les termes du message
4. Suppression des « *stops words* » du message
5. Déconnexion temporaire de la base de données
6. Passage des termes restants à la phase de traitement

Si nous reprenons notre petit exemple, à l'issue de cette phase, seuls les mots « fait » et « beau » restent.

La phase de traitement : Cette phase, la dernière de notre analyse textuelle, place chaque terme, hormis les « *stops words* », dans une base de données (de type Access ou Oracle en fonction du volume de données traitées, comme nous le verrons dans la partie suivante. Il s'agit de la même base renfermant la table « ponctuation » et la table « *stops words* ») avec le nom de la personne qui l'a prononcé (cette information sera utilisée dans la deuxième phase du processus d'apprentissage). Dans un premier temps, tous les termes sont classés par ordre d'apparition et de traitement. Cette base est exclusivement accessible par notre agent apprenant et est régulièrement vidée lors de toute nouvelle discussion (et au fur et à mesure de tout nouveau terme appris) entre participants afin de ne pas la surcharger inutilement. D'un point de vue algorithmique, cette dernière phase se traduit par :

1. Réception des termes issus de la phase de nettoyage via un stimulus spécifique
2. Connection à la base de données et ouverture de la table « *specific words* »
3. Inclusion de tous les termes restants à l'issue de la phase de nettoyage dans cette table
4. Déconnexion de la base de données
5. Envoi d'un stimulus à l'analyse statistique

Pour illustrer le déroulement de cette première analyse, nous allons déployer, pas à pas, l'exemple de notre dialogue entre deux professeurs de mathématiques, plus particulièrement la première phrase de James. Rappelons simplement quelques phrases de ce discours :

James : *Alors, David, tu as corrigé l'exercice d'hier sur le calcul de circonférence d'une roulotte de cirque, trouves-tu bien le même résultat que moi au niveau du rayon ?*

David : *Non, mais tu as entièrement raison James. Si je prends quatre fois le rayon, j'obtiendrai bien 480. Par contre, je ne vois pas où est mon erreur dans ce problème, peux-tu m'aider ?*

James : *Et bien c'est très simple. Tu multiplies Pi par 2. Puis, le résultat de cette multiplication, tu le multiplies par ton rayon. Ton rayon étant inconnu, tu le remplaces par x. C'est ce que tu as fait?*

Nous obtenons alors l'enchaînement suivant :

1. Réception du contenu (Alors, David, tu as corrigé l'exercice d'hier sur le calcul de circonférence d'une roulotte de cirque, trouves-tu bien le même résultat que moi au niveau du rayon?) de la part du module de segmentation
2. Passage par la phase de découpage -> Alors David tu as corrigé l'exercice d'hier sur le calcul de circonférence d'une roulotte de cirque trouves-tu bien le même résultat que moi au niveau du rayon
3. Passage par la phase de nettoyage -> David corrigé exercice calcul circonférence roulotte cirque trouves résultat rayon
4. Passage par la phase de traitement ->

Termes prononcés	Nom de la personne ayant prononcé le terme
David	James
Corrigé	James
Exercice	James
Calcul	James
Circonférence	James
Roulotte	James
Cirque	James
Trouves	James
Résultat	James
Rayon	James

Cette analyse textuelle se fait, ainsi, pour toutes les phrases prononcées lors d'un discours entre participants.

Si l'on poursuit le cheminement de la figure 5.1, l'étape située juste après l'analyse textuelle est l'étape de l'analyse statistique.

5.2.3 L'analyse statistique du module d'apprentissage

Cette analyse se situe, en réalité, pratiquement au même niveau que l'analyse textuelle et est peu dissociable de celle-ci puisqu'elle permet de compléter la table « *specific words* » acquise précédemment. Nous considérons que pour aider l'apprenant dans sa démarche d'acquisition de nouveaux termes et afin qu'il puisse distinguer rapidement lesquels sont indispensables à la compréhension d'un discours dans l'environnement dans lequel il se situe, celui-ci va classer chacun des termes entendus par fréquence relative décroissante d'ordre d'apparition. Nous pensons, en effet, que plus un terme est employé régulièrement lors d'une conversation et qu'il ne fait pas partie des « *stops words* », plus il sera important, pour l'apprenant, de l'acquérir rapidement. Nous nous sommes basés sur les travaux de Lebart [LS88] qui considèrent que lors de l'élaboration de programmes visant à traiter automatiquement une langue, une analyse statistique est nécessaire pour constituer le thesaurus de test et mettre, dès lors, en avant les termes les plus usités. Concernant le calcul à proprement parler de la fréquence relative d'apparition, il s'effectue de la manière suivante pour une modalité x_1 :

$$f_1 = n_1/n \tag{5.1}$$

où n_1 représente l'effectif de la modalité et n l'effectif total. Dans notre cas, n_1 indique le nombre de fois où le terme se trouve dans le discours et n le nombre total de termes prononcés par tous les participants. De plus, pour des raisons plus pratiques, nous avons décidé de multiplier cette fréquence par 100 et de ne garder seulement que deux chiffres après la virgule. Comme nous pouvons le constater aisément, ce calcul n'est véritablement fixé qu'à la fin d'un discours et l'apprenant ne peut commencer sa deuxième étape d'apprentissage qu'une fois un dialogue terminé.

Reprenons notre exemple précédent pour illustrer quelque peu nos propos, et en particulier les étapes suivies lors d'une partie de l'étape 1 d'apprentissage :

1. Réception du contenu d'un message de la part du module de segmentation ;
2. Passage du contenu par la phase de découpage ;
3. Passage des termes issus de la phase de découpage par le phase de nettoyage ;
4. Passage des termes issus de la phase de nettoyage par la phase de traitement ;
5. Calcul de la fréquence relative d'apparition pour chacun des termes extraits.

Voici donc un aperçu de l'organisation de la table de l'apprenant à la fin de l'analyse statistique :

Termes prononcés	Noms des personnes	Fréquence relative
Rayon	David * James	72,68
Circonférence	David * James	10,32
Calcul	David * James	5,30
Pi	James	2,20
Exercice	David * James	1,02
...

Ainsi, il est aisé de remarquer que dans cette conversation très mathématique, le terme « rayon » revient le plus souvent et qu'il est, par conséquent, important pour l'apprenant de connaître sa signification dans ce contexte particulier.

Simplement quelques petits commentaires sur ce tableau avant de passer au détail du calcul de confiance :

- Concernant la colonne relative aux **noms des personnes** ayant prononcé chacun des termes, nous remarquons que lorsqu'un terme est prononcé par plusieurs personnes, leurs noms sont séparés par une *. Nous verrons l'intérêt de cette information un peu plus tard.
- Concernant la colonne sur la **fréquence relative**, il s'agit d'un calcul global pour un terme en particulier, et il ne prend pas en compte le fait qu'un participant ait plus ou moins employé ce terme lors d'une conversation. Nous avons, en effet, préféré privilégier le nombre de fois où un terme apparaît dans un texte plutôt que de séparer cette information par individu et perdre ainsi tout l'intérêt de notre analyse statistique.

Nous avons vu, jusqu'à présent, les deux étapes suivies par tous les messages envoyés entre les participants, en particulier en ce qui concerne l'analyse de leur contenu. Toutefois, si nous regardons à nouveau le schéma 5.1, nous remarquons qu'une étape supplémentaire figure au niveau de l'étape 1 : celle du calcul de confiance par participant.

5.2.4 Le calcul de confiance par participant

Nous avons conclu dans le paragraphe 3.4.5, que la notion de confiance est un concept, certes en proie à un grand intérêt dans les systèmes multi-agents, mais qui reste encore flou et voit se succéder un certain nombre de définitions en fonction du point de vue que les auteurs adoptent. Partant de ce constat, nous avons décidé d'élaborer notre propre calcul de confiance en utilisant les fondements des théories de sciences sociales, qui se rapprochent le plus de notre volonté de modéliser un comportement humain. Rappelons donc, la définition que nous avons décidée de retenir pour cette notion : la confiance est l'élément fondateur de tout échange et est un facteur essentiel pour la stabilité et la continuité de la relation dans le temps (voir paragraphe 2.3.4 pour plus de précisions). Cependant, comme le souligne Zucker (voir paragraphe 2.3.4 sur les caractéristiques de sa typologie), ce sentiment peut-être renforcé et stimulé par des éléments propres à chaque individu (c'est ce qu'il appelle la confiance institutionnelle. Elle se construit en fonction de signaux comme le diplôme universitaire d'une personne) mais est aussi fortement liée aux échanges et aux types d'interactions qu'il existe entre des êtres humains (ce qu'il associe à la confiance relationnelle).

Ainsi, pour évaluer la confiance à accorder aux autres agents et en considérant l'approche de Zucker, nous avons décidé de prendre en compte des éléments liés aux caractéristiques professionnelles des agents (en particulier leur grade et leur ancienneté) mais également à leurs comportements relationnels vis-à-vis du groupe lors des échanges simulés. Concernant ce deuxième point, nous nous sommes appuyés sur les travaux de Robert Pléty qui modélisent des profils-types de comportements à l'intérieur d'un groupe ainsi que sur les travaux de Sébastien George concernant la modélisation de ces profils (voir paragraphe 2.3.3 pour plus de détails). En effet, à l'issue de ses calculs, Sébastien George obtient le tableau de correspondance suivant :

Profils comportementaux de Pléty	Valeur du coefficient de participation de George
Animateur	[75; 100]
Vérificateur	[50; 75[
Quêteur	[25;50[
Indépendant	[0;25[

Dans notre cas, ce coefficient de participation est calculé au fur et à mesure du discours entre les participants et prend, de ce fait, en considération, le temps de parole de chacun d'eux. Nous restons donc dans la logique de Pléty puisque l'agent ayant le plus grand coefficient de participation est celui qui a le plus parlé et qui, selon Pléty, tient une place importante dans le groupe. Par conséquent, sur ce critère, le participant possédant le coefficient le plus proche de 100, doit être jugé par l'apprenant comme celui à qui il doit accorder le plus de confiance.

Au vu de ces éléments, nous nous retrouvons, avec trois types de données à prendre en considération lors du calcul de confiance : des informations relatives au grade des agents, des informations relatives à leur ancienneté et des informations sur leur participation comme le montre le tableau suivant :

Individus	Valeur coefficient de participation	Grade	Ancienneté
A1	85	G1	T1
A2	10	G2	T2
...
An	30	Gn	Tn

Notons au passage, que l'ensemble $\{G_1, \dots, G_n\}$ représente le grade d'un individu (comme par exemple, professeur ou maître de conférences) et que nous souhaitons accorder la plus grande confiance au participant ayant le plus haut grade. De même pour l'ancienneté, l'ensemble $\{T_1, \dots, T_n\}$ représente l'ancienneté en années pour un agent (par exemple : 10 ans) et nous désirons accorder une plus grande confiance à la personne ayant le plus d'ancienneté.

Une question se pose alors : comment agréger toutes ces informations et obtenir, au final, une liste des participants classée par ordre croissant de confiance ? Il s'agit typiquement d'un problème d'agrégation d'opinions. Pour résoudre cela de façon mathématique, nous avons travaillé avec un professeur de notre laboratoire, Daniel Tounissoux, qui a élaboré une méthode pour résoudre l'agrégation d'opinions de type préférence large (il considère comme préférence large, le cas où il existe des ex-aequo, ce qui peut-être effectivement possible dans notre problématique). Regardons donc les détails de son approche.

Considérons deux ensembles :

- l'ensemble des *juges*, $K = 1, \dots, p$. Un juge peut représenter soit une personne physique (arbitre, expert...) soit une variable (nominale, ordinale ou de mesure) définie sur I . Dans notre cas, il existe trois juges (trois variables) : la participation, le grade et l'ancienneté.
- l'ensemble des *individus*, $I = 1, \dots, n$. Un individu peut représenter soit un individu au sens propre (une personne évaluée) soit un individu au sens figuré (décision, stratégie...). Dans notre cas, il s'agit d'individus au sens propre puisque ce sont nos participants.

Pour tout couple d'individus (i, j) chaque juge k émet un avis $A^k(i, j)$. Chacune de ces opinions A^k est une application de C ,

$$C = \{(i, j) \in \{1, \dots, n\}^2 \mid i < j\} \tag{5.2}$$

dans l'ensemble à trois valeurs :

$$\{PREF, NPREF, EQ\} \tag{5.3}$$

avec la convention suivante :

- $A^k(i, j) = PREF \Leftrightarrow$ le juge k préfère i à j
- $A^k(i, j) = NPREF \Leftrightarrow$ le juge k préfère j à i
- $A^k(i, j) = EQ \Leftrightarrow$ le juge k n'a pas de préférence entre i et j

On cherche à construire sur I une opinion X

- qui engendre sur I un préordre total (i.e. un préordre P peut être décrit comme un ensemble de groupes ordonnés $P = G_1, \dots, G_m$ avec tout élément de G_1 préféré à tout élément de G_2 ...)
- et qui maximise une mesure de concordance avec l'ensemble des opinions des juges.

Il convient alors de définir le degré d'accord $\rho_{ij}(X, A^k)$ entre les avis $X(i, j)$ et $A^k(i, j)$ conformément au tableau suivant :

$X(i, j)$ $A^k(i, j)$	PREF	NPREF	EQ
PREF	1	0	1/2
NPREF	0	1	1/2
EQ	1/2	1/2	1

Ainsi, le degré d'accord $DA(X, A^k)$ entre les opinions X et A^k s'écrit :

$$DA(X, A^k) = \sum_{(i,j) \in C} \rho_{ij}(X, A^k) \quad (5.4)$$

et le degré d'accord $DA(X)$ entre l'opinion X et les opinions des juges s'écrit :

$$DA(X) = \sum_{k=1}^p DA(X, A^k) \quad (5.5)$$

Le problème consiste à construire une opinion X , qui engendre un préordre total sur I et qui maximise $DA(X)$. Nous allons donc étudier le critère d'optimisation.

A une opinion X de type préférence large, nous associons trois vecteurs $(x_{ij})_{(i,j) \in C}, (\bar{x}_{ij})_{(i,j) \in C}$ et $(y_{ij})_{(i,j) \in C}$ définis comme suit :

Pour chaque paire $(i, j) \in C$ on pose :

$$\begin{aligned} x_{ij} &= 1 \text{ si } X_{ij} = \text{PREF} ; 0 \text{ sinon} \\ \bar{x}_{ij} &= 1 \text{ si } X_{ij} = \text{NPREF} ; 0 \text{ sinon} \\ y_{ij} &= 1 \text{ si } X_{ij} = \text{EQ} ; 0 \text{ sinon} \end{aligned}$$

Notons que X devant engendrer un préordre total sur I , on a la relation :

$$x_{ij} + \bar{x}_{ij} + y_{ij} = 1 \forall (i, j) \in C \quad (5.6)$$

Associons de la même manière à chaque opinion A^k les vecteurs $(a_{ij}^k)_{(i,j) \in C}, (\bar{a}_{ij}^k)_{(i,j) \in C}$ et $(b_{ij}^k)_{(i,j) \in C}$. Le degré d'accord entre les avis $X(i, j)$ et $A^k(i, j)$ peut alors s'écrire de la manière suivante :

$$\rho_{ij}(X, A^k) = x_{ij}(a_{ij}^k + \frac{1}{2}b_{ij}^k) + \bar{x}_{ij}(\bar{a}_{ij}^k + \frac{1}{2}b_{ij}^k) + y_{ij}(\frac{1}{2}a_{ij}^k + \frac{1}{2}\bar{a}_{ij}^k + \frac{1}{2}b_{ij}^k) \quad (5.7)$$

En tenant compte de l'équation 5.6 et en éliminant y_{ij} , il advient :

$$\rho_{ij}(X, A^k) = x_{ij}(\frac{1}{2}a_{ij}^k - \frac{1}{2}b_{ij}^k - \frac{1}{2}\bar{a}_{ij}^k) + \bar{x}_{ij}(\bar{a}_{ij}^k - \frac{1}{2}b_{ij}^k - \frac{1}{2}a_{ij}^k) + (\frac{1}{2}a_{ij}^k + \frac{1}{2}\bar{a}_{ij}^k + \frac{1}{2}b_{ij}^k) \quad (5.8)$$

De plus, on pose pour $(i, j) \in C$, $r_{ij} = \sum_{k=1}^p a_{ij}^k$ (équivalent au nombre de juges qui préfèrent

i à j), $\bar{r}_{ij} = \sum_{k=1}^p \bar{a}_{ij}^k$ (équivalent au nombre de juges qui préfèrent j à i) et $u_{ij} = \sum_{k=1}^p b_{ij}^k$ (équivalent au nombre de juges qui ne manifestent pas de préférence entre i et j).

Il s'en suit :

$$DA(X) = \sum_{k=1}^p \sum_{(i,j) \in C} \rho_{ij}(X, A^k) \quad (5.9)$$

qui est égal à :

$$DA(X) = \sum_{(i,j) \in C} [\frac{1}{2}(r_{ij} + \bar{r}_{ij}) + u_{ij}] + \frac{1}{2} \sum_{(i,j) \in C} [x_{ij}s_{ij} + \bar{x}_{ij}\bar{s}_{ij}] \quad (5.10)$$

avec $s_{ij} = r_{ij} - \bar{r}_{ij} - u_{ij}$ et $\bar{s}_{ij} = \bar{r}_{ij} - r_{ij} - u_{ij}$.

Après simplification, nous obtenons :

$$DA(X) = \frac{1}{2}(N + \sum_{(i,j) \in C} u_{ij}) + \frac{1}{2} \sum_{(i,j) \in C} [x_{ij}s_{ij} + x_{ji}\bar{s}_{ji}] \quad (5.11)$$

avec N le nombre d'avis exprimés.

Pour résoudre cette équation, une méthode consiste à utiliser la résolution par recuit simulé. Pour cela, nous supposons un préordre P qui peut être décrit comme un ensemble de groupes ordonnés $P = G_1, \dots, G_m$ avec tout élément de G_1 préféré à tout élément de G_2, \dots . L'opinion X et le préordre P correspondant se caractérisent l'un l'autre selon les relations suivantes : $i, j \in G_h \Leftrightarrow X(i, j) = EQ$ et $i, j \in G_h, j \in G_l, h < l \Leftrightarrow X(i, j) = PREF$. Posons :

$$Val(P) = \sum_{h=1}^{m-1} \sum_{l=h+1}^m \sum_{\substack{i \in G_h \\ j \in G_l}} s_{ij} \quad (5.12)$$

La relation 5.11 devient :

$$DA(X) = \frac{1}{2} (N + \sum_{(i,j) \in C} u_{ij}) + Val(P) \quad (5.13)$$

et la recherche d'une opinion X qui maximise DA(X) est donc équivalente au problème suivant : $\max[Val(P) | P \text{ préordre sur } I]$. On retrouve là un type de problème d'optimisation combinatoire que nous traitons au moyen de la méthode du recuit simulé. Pour la mise en oeuvre de la méthode, on sait qu'il importe de disposer d'un concept de voisinage. Nous dirons qu'un préordre P' est voisin d'un préordre P, P' appartenant à V(P), si et seulement si P' dérive de P par le déplacement d'un seul individu i_0 de la manière suivante :

- Soit i_0 est transféré dans $G_h + 1$ (sous réserve que $h < m$) ou dans $G_h - 1$ (sous réserve que $h > 1$),
- Soit i_0 constitue un nouveau groupe à lui seul, et i_0 peut-être transféré ou non à G_h

La variation $\lambda = Val(P') - Val(P)$ est facile à calculer. Ainsi, si l'on suppose que P' dérive de P par transfert de i_0 du groupe G_h dans le groupe $G_h + 1$, il advient conformément à 5.12 :

$$\lambda = \sum_{\substack{j \in G_h \\ j \neq i_0}} s_{ji_0} - \sum_{j \in G_{h+1}} s_{i_0j} \quad (5.14)$$

Nous venons de voir une résolution mathématique de notre problème d'agrégation d'opinions qui nous permet d'obtenir un classement de nos participants tenant compte de trois informations importantes : leur participation durant la conversation, leur grade et leur ancienneté. Pour terminer cette démonstration théorique, nous allons donner un exemple du type de résultat que nous pouvons obtenir à l'issue de tous ces calculs.

Supposons trois juges (variables V1, V2, V3) qui expriment leur opinion vis à vis de 5 individus de la manière suivante : $V_k(i)$, $k = 1, 2, 3$, $i = 1, \dots, 5$ prend l'une des trois valeurs 1, 2 ou 3. Les données sont les suivantes :

	V1	V2	V3
a1	3	3	2
a2	3	2	3
a3	1	1	1
a4	1	1	2
a5	2	2	3

avec la convention suivante : $V_k(i) < V_k(j) \Leftrightarrow$ le juge k préfère i à j. Et, $V_k(i) = V_k(j) \Leftrightarrow$ le juge k considère i et j comme équivalents.

Les résultats de la recherche d'un préordre donne

Groupe 1 : 2 :

A3 A4

Ce qui signifie que dans ce premier groupe A3 et A4 sont équivalents.

Groupe 2 : 1 :

A5

Groupe 3 : 2 :

A1 A2

Ainsi, d'après cet exemple, l'individu A3 est meilleur (dans le sens où nous lui faisons plus confiance) qu'un individu du deuxième groupe qui est lui même meilleur qu'un individu du troisième groupe. Nous obtenons, de ce fait, un classement de chaque individu les uns par rapport aux autres, et ceci en prenant en considération l'avis des trois juges.

Nous effectuerons une démarche similaire lors de nos simulations dans la quatrième partie de cette thèse, ce qui permettra à l'apprenant d'obtenir un classement des participants en fonction de la confiance à leur accorder, lors de la deuxième étape de son processus d'apprentissage (ce résultat est stocké au sein de la base de données de l'apprenant).

5.2.5 Conclusion

Nous avons développé, dans cette partie, la première étape du processus d'apprentissage d'un apprenant. Nous avons vu qu'elle se compose de deux phases : une analyse sur le contenu des messages échangés et une estimation de la confiance à accorder à chaque participant présent dans l'environnement. Pour cela, nous avons mis en oeuvre des techniques de linguistique, et plus particulièrement de TextMining, pour dégager les « mots-clés » d'une conversation en langage naturel. De plus, nous nous sommes servis de modèles mathématiques (plus particulièrement d'agrégation d'opinions) et sociologiques pour modéliser la confiance et obtenir un classement des participants les uns vis-à-vis des autres en prenant en considération des critères professionnels (comme le grade et l'ancienneté) et un critère de participation. De ce fait, pour mener à bien ces diverses analyses, l'apprenant utilise toutes ses connaissances (voir paragraphe 4.3.3 pour plus de détails sur les connaissances de base d'un apprenant) aussi bien linguistiques, que sur les participants.

Par conséquent, à l'issue de cette première étape, la base de données de l'agent apprenant se compose de deux nouvelles tables : une table avec tous les termes issus de la conversation et classés par ordre décroissant de fréquence d'apparition (la table des « *specific words* ») et une table avec la confiance par participant (la table « *agent participation* ») comme nous pouvons le voir sur la figure 5.2. La table de connaissances que nous voyons apparaître sur le graphique est la table de connaissances sur les autres participants. Elle regroupe toutes leurs informations personnelles, professionnelles ainsi que la participation durant le discours et a été créée lors de l'initialisation de l'agent apprenant (voir paragraphe 4.3.3. pour plus de détails. Il est à noter, toutefois, que la participation est calculée au fur et à mesure de l'étape 1). Elle est cependant utilisée lors du calcul de la confiance, comme nous venons juste de le voir précédemment.

Nous tenons, enfin, à souligner que lors de cette première étape, l'apprenant ne peut intervenir dans la discussion entre les participants, et que si cela se produit ses messages ne sont pas traités par ces agents. De plus, aucune contrainte de temps n'apparaît dans cette étape où la fin d'un discours marque le début de l'étape 2 d'apprentissage.

En conclusion, nous pouvons dire que nous avons fait en sorte d'apporter une vision pluri-

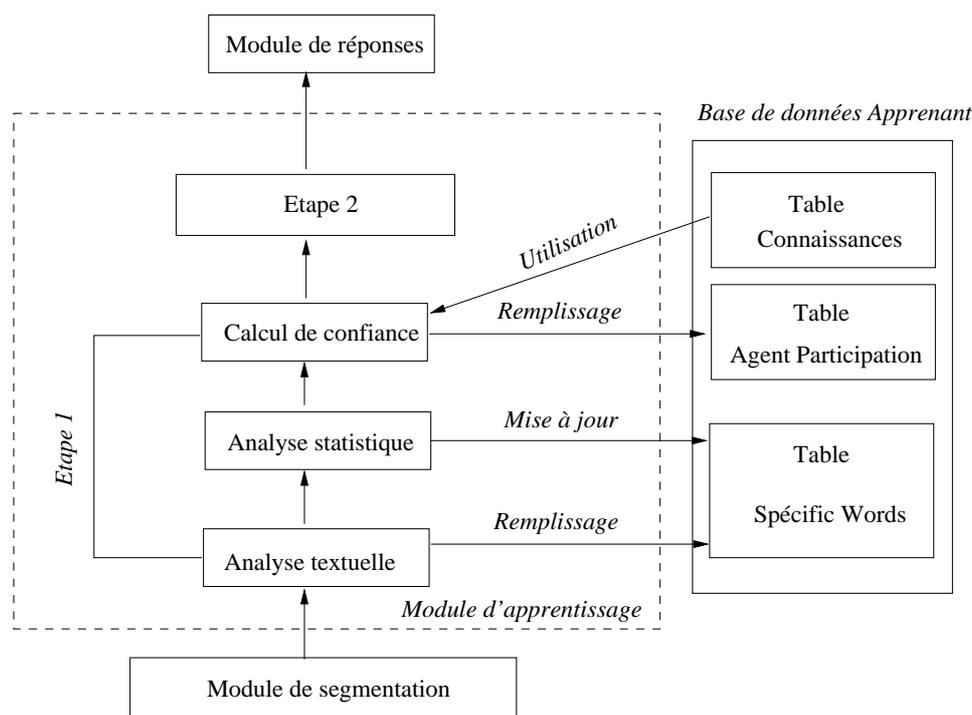


FIG. 5.2 – Détails de l'étape 1 du module d'apprentissage

disciplinaire à notre problématique en nous efforçant de rester le plus fidèle possible à un processus d'acquisition humain. D'ailleurs, la deuxième étape du module d'apprentissage argumente en ce sens puisqu'elle met en avant les interactions et les échanges entre agents lors de la construction d'une ontologie en adéquation avec le modèle.

5.3 Étape 2: Apprentissage de nouveaux termes et mise à jour de l'ontologie

5.3.1 Introduction

A l'issue de l'étape 1, l'apprenant a à sa disposition une base de données de termes qui n'ont aucune signification pour lui et qui ne correspondent à rien dans son ontologie (nous rappelons que pour nous, un terme est synonyme d'un « label » de concept dans une ontologie, c'est-à-dire le nom du concept), bien qu'il soit parfaitement conscient de la richesse et de l'intérêt de toutes ces informations. Imaginez un peu : vous regardez un cahier sur lequel sont inscrites des suites de mots, vous pouvez, bien entendu, les lire, lier les lettres entre elles mais les mots en eux-même n'ont aucune signification pour vous et vous vous demandez alors s'il s'agit d'un code ou d'une phrase importante, délicat comme situation, n'est-ce pas?. Et bien, il en est de même pour notre apprenant. La question est la suivante : comment doit-il apprendre ces termes? A qui doit-il demander leur sens? Et surtout, comment les représenter dans son ontologie existante?

Pour élaborer cette étape, nous nous sommes appuyés, cette fois-ci, sur les travaux en psychologie sociale et plus particulièrement sur ceux de Vygotsky (travaux présentés dans le paragraphe 2.1.4). En effet, nous considérons que notre agent va apprendre grâce aux relations qu'il va pouvoir développer avec les participants, en particulier lors des moments

d'échange de communication. Tout son processus d'apprentissage est alors enraciné dans la sociabilité humaine avec tous les éléments sociaux (dialogues, questionnement...) qui la caractérisent. Le langage revêt ici une place particulière : il est plus qu'un outil de socialisation car il permet, surtout, le développement des connaissances. Bien entendu, ceci sous-entend, une participation coopérative de la part des participants qui n'ont aucun intérêt à induire en erreur l'apprenant dans sa recherche de sens d'un terme. Dès lors, à la manière d'un enfant, l'apprenant va demander la signification d'un terme en posant une question au participant le plus apte à lui répondre. Nous allons voir, plus en détails, ce processus d'acquisition.

5.3.2 Validation d'un terme auprès des participants

L'apprenant va prendre, un à un, les termes contenus dans sa base de connaissances et formuler une question de type « *Qu'est ce que ... ?* » (ou « *What's ... ?* » pour un discours en anglais) à la personne l'ayant prononcée. Il fait cela pour tous les termes qui lui sont inconnus, c'est-à-dire après avoir vérifié qu'ils n'existent pas déjà dans son ontologie de base (nous rappelons au lecteur que l'apprenant possède une ontologie de base liée à ses compétences qui lui permettent de comprendre les mots « simples » d'une conversation. Par conséquent, si ce terme existe déjà au sein de son ontologie, il passe au terme suivant dans sa table de nouveaux termes). Deux possibilités se présentent :

- **Un seul agent** a prononcé ce terme. Dans ce cas, le destinataire de la question est l'agent en question
- **Plusieurs participants** ont employé le terme. L'apprenant doit alors interroger sa table de confiance afin de repérer l'agent ayant le plus grand degré de confiance pour lui transmettre sa question. En effet, nous supposons que, comme nous sommes dans un environnement coopératif, tous les participants sont en mesure et dans l'obligation de répondre à l'apprenant. Cependant, afin d'éviter toute ambiguïté dans la réponse apportée, nous préférons interroger un seul agent, jugé comme le plus compétent et ayant le plus de connaissances sur le sujet. Nous supposons aussi, pour le moment, que l'apprenant ne remet pas en cause les informations fournies par un agent qu'il considère automatiquement comme justes.

En ce qui concerne l'envoi de messages, la formulation de la question, à proprement parlée, se réalise au niveau du module de réponses grâce aux connaissances linguistiques de l'agent. Ce message est automatiquement assorti d'un accusé de réception afin de vérifier son bon acheminement. En cas de non réception du récépissé, l'apprenant renouvelle sa demande jusqu'à ce que le participant lui réponde (en respectant bien entendu un certain intervalle de temps). Si le participant vient à refuser de répondre, l'apprenant en informe le conseiller qui oblige cet agent à fournir une réponse en lui rappelant qu'il se situe dans un environnement coopératif (message de type : « *Veillez répondre à l'apprenant!* »).

De façon schématique, cette étape se traduit par la figure 5.3 qui met en évidence un traitement différent lorsque le terme est prononcé par un ou plusieurs agents, comme nous venons de le voir.

Reprenons notre exemple entre David et James pour analyser la progression de cette étape. Nous allons prendre deux cas : un où le terme a été prononcé par un seul agent (ce qui est le cas pour le « Pi ») et un où le terme est prononcé par les deux participants (le mot « rayon », par exemple).

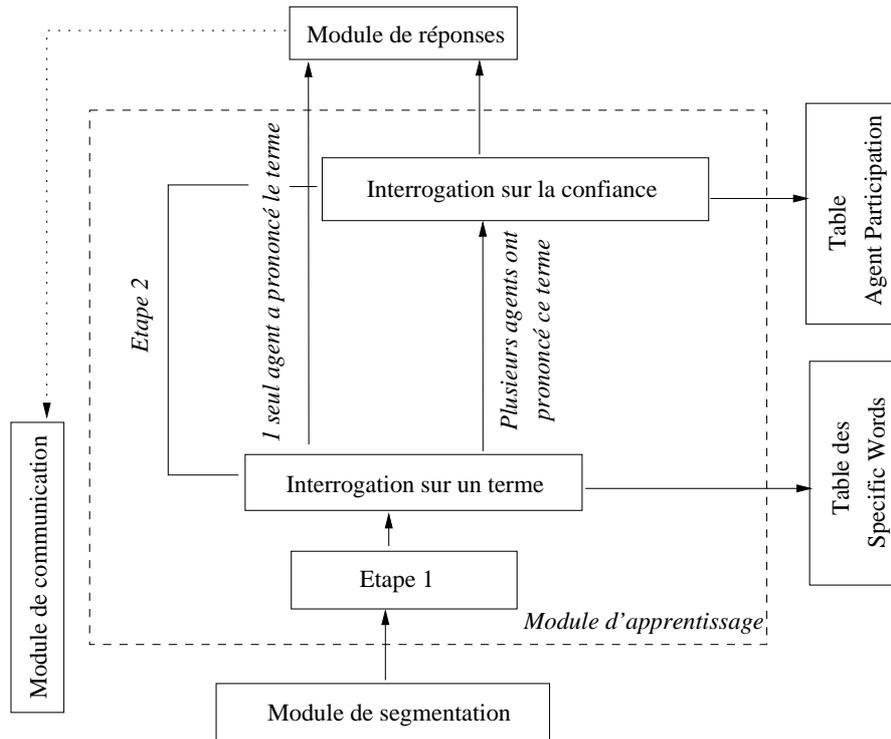


FIG. 5.3 – Détails de l'étape 2 du module d'apprentissage

Premier exemple avec le terme rayon :

1. Accès à la table des nouveaux termes et prise en compte du terme « rayon », qui est le premier de la liste ;
2. Vérification que ce concept n'appartient pas à l'ontologie de base de l'apprenant ;
3. Analyse de la personne ayant prononcé ce terme → Dans ce cas, il s'agit de David et James ;
4. Accès à la table de confiance par participant et recherche du niveau de confiance le plus élevé entre David et James → Il s'agit de James ;
5. Envoi de ces éléments au module de réponse qui formule la question « *Qu'est-ce qu'un rayon* » avec pour destinataire James ;
6. Envoi au module de communication qui fait parvenir le message ;
7. Attente de l'accusé de réception.

Avec le terme « Pi » , le cheminement est exactement le même sauf que la question est posée directement à James et que la table de confiance n'est pas sollicitée (nous pouvons d'ailleurs le constater sur la figure 5.3).

Une fois la réponse à la question posée, l'apprenant doit compléter et mettre à jour son ontologie pour la rendre adéquate avec le domaine simulé.

5.3.3 Mise à jour de l'ontologie de l'apprenant

Avant de rentrer dans les détails techniques de cette phase, rappelons quelques éléments clés d'une ontologie. Nous avons vu dans le paragraphe 3.3.3, qu'une ontologie implique une certaine vue du monde par rapport à un domaine donné (*i.e.* elle n'est donc valable que pour ce domaine en particulier, contrairement à un dictionnaire, par exemple) et que

cette vue est souvent conçue comme un ensemble de concepts, leurs relations et leurs définitions. De plus, dans une ontologie, chaque concept est organisé de façon hiérarchique (*i.e.* chaque concept possède un concept plus générique (le concept père) situé juste au-dessus de lui si l'on matérialise une ontologie sous la forme d'un arbre de relations). C'est en particulier sur cette notion de hiérarchie que nous allons travailler pour mettre à jour l'ontologie de notre apprenant. Nous apprendrons donc à la fois le concept père, sa définition et sa relation unaire.

Après cet aparté, revenons à notre problématique. Pour chacune de ses questions, l'apprenant reçoit de la part d'un participant une réponse de type « *C'est...* » (ou « *It's ...* » pour un discours en anglais). Nous avons vu, dans le paragraphe 4.3.2, que pour formuler sa réponse, le participant utilise son ontologie et recherche le concept situé juste au-dessus de celui demandé (*i.e.* un concept un peu plus générique). Par transposition, il en est de même pour l'apprenant puisque celui-ci sait que le concept qu'il reçoit correspond à celui situé juste au-dessus de celui qu'il demande. A partir de là, deux possibilités s'offrent à lui :

- Soit la réponse apportée comprend un concept générique qui est contenue dans son ontologie de base. Dans ce cas, il lui suffit de rajouter ce concept, sa définition et sa relation à l'endroit approprié,
- Soit la réponse fournie ne contient pas de concept connu. L'apprenant pose alors, à nouveau, une question, au même participant jusqu'à ce qu'il lui fournisse un concept appartenant à son ontologie. Il est vrai que, pour un nouveau concept appris, plusieurs le sont également et la rapidité d'apprentissage dépend fortement de la complexité du concept demandé.

De manière plus algorithmique, la mise à jour de l'ontologie, au niveau de l'apprenant, se fait de la façon suivante :

Tant que concept inconnu (nous entendons par concept inconnu le fait qu'il n'appartienne pas à l'ontologie de l'apprenant)

1. Formuler une question au participant pour connaître le concept plus générique ;
2. Attendre la réponse ;
3. Rechercher dans l'ontologie si ce concept existe.

Fin Tant que

Donnons un exemple pour illustrer ces propos. Supposons que deux participants discutent de mécanique et plus particulièrement de montage de roues sur un camion. Leur ontologie est identique et ressemble de manière simplifiée au schéma XML suivant (nous avons choisi cette représentation afin de rendre plus visuel cet exemple) :

- <Vehicules>
 - + <Bateaux>
 - <Vehicules de ville>
 - + <Voitures>
 - <Camions>
 - <Roue>
 - <Volant>
 - <Pare Brise>
- + <Avions>

Par contre, l'ontologie de l'apprenant est quelque peu différente comme nous pouvons le percevoir à travers sa représentation XML :

- <Vehicules>
 - + <Bateaux>
 - <Avions>
 - + <Airbus>
 - <Helicopter>
 - <Helice>
 - <Altimetre>

A l'issue de la première étape, le terme qui apparaît le plus souvent lors de la discussion est le mot « roue ». Compte-tenu du fait que ce terme n'apparaît pas dans son ontologie, l'apprenant va alors l'apprendre et essayer de l'intégrer à son ontologie existante. Voici les étapes suivies :

1. Envoi du message « *Qu'est-ce qu'une roue ?* » au premier participant
2. Réception du message « *Cela appartient à un camion* »
3. Recherche du concept « camion » dans l'ontologie → Ce concept n'existe pas
4. Envoi du message « *Qu'est-ce qu'un camion ?* » au premier participant
5. Réception du message « *C'est un vehicule de ville* »
6. Recherche du concept « vehicule du ville » dans l'ontologie → Ce concept n'existe pas
7. Envoi du message « *Qu'est-ce qu'un vehicule de ville ?* » au premier participant
8. Réception du message « *C'est un vehicule* »
9. Recherche du concept « vehicule » dans l'ontologie → Ce concept existe
10. Mise à jour de l'ontologie en tenant compte de tous ces éléments
11. Suppression du mot « roue » de la table des nouveaux mots

Ainsi, à l'issue de ce premier apprentissage, l'ontologie de l'apprenant est devenue plus importante et ressemble à :

- <Vehicules>
 - <Vehicules de ville>
 - <Camion>
 - <Roue>
- + <Bateaux>
- <Avions>
 - + <Airbus>
 - <Helicopter>
 - <Helice>
 - <Altimetre>

A travers cet exemple, nous voyons bien l'importance de cette phase pour l'apprenant : elle lui permet d'enrichir ses connaissances et de devenir ainsi plus performant dans le domaine en question. Finalement, c'est bien l'objectif principal de tout processus d'apprentissage humain...

A l'issue de cette étape, une question, concernant l'apprentissage de façon générale, peut

se poser : comment mesurer la pertinence de cet apprentissage au niveau de notre apprenant, et plus particulièrement au niveau de son ontologie ? Nous avons évoqué, dans le chapitre précédent, et plus spécifiquement au niveau du rôle de régulateur du conseiller (paragraphe 4.3.4), le fait que celui-ci peut vérifier l'adéquation de l'ontologie de l'apprenant avec la sienne (nous supposons que le conseiller est la personne experte du domaine et a, de ce fait, les connaissances les plus approfondies). Dès lors que l'apprenant a terminé son apprentissage sur un dialogue et qu'il manifeste sa volonté de devenir participant auprès du conseiller, celui-ci va analyser son ontologie et regarder si tous les concepts qu'il a appris font bien référence aux bons concepts génériques. Si ce n'est pas le cas, l'apprenant est obligé de garder ce statut durant un autre dialogue (nous accordons, néanmoins, un taux d'erreur arbitraire de 5% à notre apprenant, taux correspondant au fait que certains concepts ont pu être mal compris durant l'apprentissage). Nous considérons que cette mesure de pertinence représente un véritable contrôle de connaissances pour le conseiller, qui évalue l'apprenant sur les concepts qu'il vient d'acquérir.

Pour élaborer cette mesure, nous nous sommes appuyés sur des expériences mises en oeuvre en apprentissage social qui montrent que pour vérifier si un individu a bien assimilé de nouvelles connaissances, un contrôle doit être réalisé (que soit une interrogation écrite ou orale) peu de temps après cet apprentissage afin de corriger rapidement les erreurs pour qu'elles ne se reproduisent plus par la suite.

5.3.4 Conclusion

Nous avons montré deux points importants dans cette deuxième étape : d'une part que le processus d'apprentissage de notre apprenant est exclusivement basé sur ses interactions et ses échanges verbaux avec les participants (ce qui permet d'introduire une dimension plus « sociale » à la problématique d'apprentissage en SMA) et d'autre part, que son ontologie est mise à jour progressivement en fonction de ses besoins.

En ce qui concerne le langage, nous avons vu qu'il était à la base de notre processus d'apprentissage, à l'instar des êtres humains. Cependant, si l'on regarde de manière plus approfondie la communication entre deux individus, il semble qu'il existe un certain paradoxe. En effet, apparemment, communiquer est l'acte le plus simple et le plus banal qu'il soit. Selon un modèle canonique, la communication est la transmission d'une information d'un émetteur à un récepteur par le biais d'un canal. Pour peu que le message soit clair, l'auditeur attentif, et qu'il n'y ait aucune perturbation dans le canal de communication, le message doit bien passer. Or, généralement, le récepteur est rarement un sujet passif qui se contente d'enregistrer les données transmises, et communiquer n'est pas seulement informer mais c'est aussi chercher à influencer autrui. En est-il alors de même pour notre agent apprenant ? A travers la première étape, nous avons constaté que notre agent n'est pas un réceptacle passif mais qu'au contraire, il analyse, filtre, décode et interprète les informations reçues. Ces nombreux filtres qui interviennent dans la sélection des messages lui permettent de mieux comprendre et mémoriser les informations transmises en fonction, bien entendu, de ses objectifs et de ses intérêts de départ. Par contre, pour ce qui est des enjeux implicites de la communication (cherche-t-elle à influencer l'apprentissage?), il va de soit que le principal dessein des messages échangés entre participants et apprenant est purement informatif, sans chercher à convaincre mais plutôt à transmettre des données-clés. Cependant, ils permettent aussi d'établir une certaine relation entre les agents, une relation plutôt égalitaire, et de dévoiler les caractéristiques et les aptitudes de chacun, de façon plus ou moins implicite (sans rentrer, bien sûr, dans une analyse

psychologique des messages échangés!).

Nous avons également découvert que cette seconde étape donne l'occasion à l'apprenant de mettre à jour son ontologie et d'intégrer ainsi de nouveaux concepts indispensables à la compréhension des discours. Concernant cette partie, nous tenons simplement à rappeler que l'ontologie ainsi construite n'est valable que pour l'environnement simulé et permet, de surcroît, une représentation des connaissances du domaine dans la mesure où elle décrit les objets, leurs propriétés et la façon dont ils se combinent en prenant en considération les avis des agents présents à ce moment précis. Par le fait que cette phase tende à l'enrichissement des connaissances de l'apprenant, elle constitue pour lui une véritable méthode d'apprentissage (même si nous n'avons, volontairement, pas déployé de calculs mathématiques pour y parvenir), à l'image d'un cerveau humain qui évolue et acquiert de nouvelles compétences.

Pour terminer ce chapitre, nous allons revenir sur l'ordonnancement du processus d'apprentissage afin d'analyser son exécution lors de changements pouvant intervenir au niveau de l'environnement (comme l'arrivée d'un nouvel agent par exemple).

5.4 Ordonnancement de l'exécution du processus d'apprentissage

A chaque instant, il est nécessaire d'assurer une exécution cohérente au niveau de toutes les étapes du module d'apprentissage de l'apprenant. Il est pour cela indispensable de respecter un certain ordonnancement afin que chaque nouveau concept soit parfaitement appris et pris en considération par l'apprenant durant sa période d'apprentissage. Cet ordre suit, bien évidemment, l'ordre des étapes mais nous allons voir comment se comporte ce dernier lors de la prise en compte d'événements externes à l'environnement. En effet, nous pouvons nous poser les questions suivantes : comment se déroule le processus d'apprentissage lorsqu'un nouveau participant intervient ? Est-il pris en compte immédiatement par l'apprenant ? Comment continuer la mise à jour de l'ontologie si le participant susceptible d'aider l'apprenant se retire de l'environnement ? Que faire lorsqu'un nouveau dialogue commence avant que le processus d'apprentissage soit entièrement clos ? Comment gérer cette arrivée de nouveaux concepts ? Nous nous rendrons compte alors de l'importance des stimuli internes que nous avons abordé lors du chapitre précédent.

5.4.1 Ordonnancement initial du processus d'apprentissage

Dès son arrivée dans l'environnement, l'apprenant doit analyser chacune des phrases émises par les participants. A partir de là, les étapes s'enchaînent comme le montre la figure 5.4.

Reprenons dans l'ordre chacun des numéros en donnant une explication plus précise sur leur fonctionnement.

1. Il s'agit, de ce que l'on pourrait qualifier, d'initialisation du processus d'apprentissage. En effet, à l'issue du module de segmentation, celui-ci analyse non seulement le contenu, mais également l'expéditeur et le récepteur du message pour dégager le type de message dont il est question. Ayant repéré qu'il s'agit d'une partie du dialogue entre participants, ce module extrait simplement le contenu pour l'envoyer vers l'analyse textuelle assorti d'un stimulus spécifique.

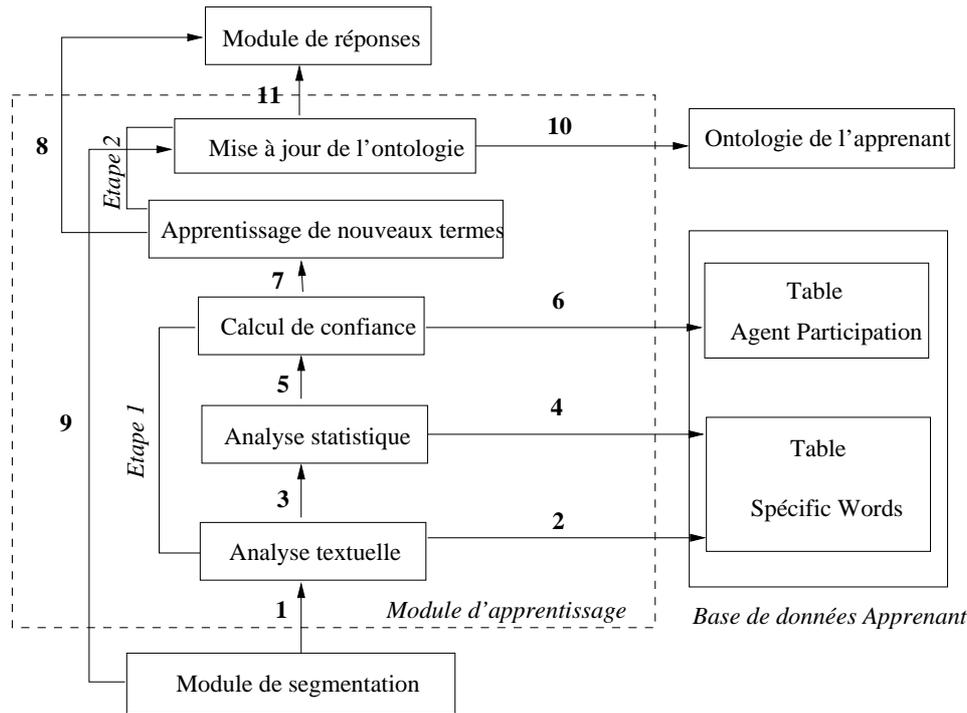


FIG. 5.4 – Ordonnancement normal du processus d'apprentissage

2. Ce numéro représente le début de l'étape 1. C'est à ce niveau que chacune des phrases contenue dans le message subit un traitement automatique du langage (en utilisant la table de ponctuation et la table des « *stops words* » englobées dans la base de données de l'apprenant) afin de dégager certains termes de la conversation. Chaque terme est alors déposé dans une nouvelle table (table des « *specific words* ») avec le nom de la personne l'ayant prononcé. A ce stade les mots sont classés par ordre d'apparition, sans classement spécifique.
3. Le lecteur reconnaîtra, à travers cette étape, l'analyse statistique réalisée sur chaque terme issu de la phase précédente. Cette analyse consiste à calculer la fréquence d'apparition d'un terme au cours d'un discours. Elle prend seulement en compte le nombre de fois où ce terme a été employé durant une conversation sans tenir compte du nom de la personne qui l'a prononcé. Elle est réalisée tout de suite après la phase numéro 2 et est actualisée à chaque fois qu'une nouvelle phrase arrive.
4. Cet instant est très fortement lié à la phase 3 puisqu'il prend en considération les fréquences trouvées précédemment pour classer tous les termes de la phase 2 par ordre décroissant de fréquence d'apparition afin de simplifier la démarche d'apprentissage pour la suite. Bien entendu, pour que cette phase soit valide, il faut que le discours entre les participants soit terminé (un message de fin de discours est d'ailleurs automatiquement envoyé pour en informer le participant).
5. Le calcul de confiance intervient également à la fin du dialogue et une fois que la phase précédente est terminée. Il utilise toutes les données récoltées auprès du conseiller lors de l'arrivée de l'apprenant, ainsi que la participation de chacun durant le conversation écoutée. Il est indépendant des étapes d'analyse textuelle et statistique et peut-être régulièrement mis à jour lors de la prise en compte de nouveaux éléments.
6. Cette phase est, naturellement, très proche de la phase 5 puisqu'elle place dans une

nouvelles table, les données calculées et relatives à la confiance accordée à chaque participant. Elle est plus particulièrement utilisée lors de l'étape 2 mais marque aussi la fin de l'étape 1.

7. La phase de validation des termes contenus dans la table « *specific words* » est déclenchée grâce à l'envoi d'un stimulus spécifique de la part de la phase 6; c'est ce que reflète le numéro 7 qui marque aussi le début de l'étape 2.
8. La phase 8 va prendre un à un les termes de la table « *specific words* » et les assortir d'une question à envoyer à la personne qui les a employés. Comme nous pouvons le constater sur le schéma, elle est reliée au module de réponses puisque la question, en elle-même, se construit dans ce module. Cette phase peut être amenée à utiliser la table « *Agent participation* » si deux personnes (ou plus) ont prononcé le terme. Bien entendu, elle doit forcément attendre la réception du stimulus de la mise à jour de l'ontologie pour pouvoir produire une autre question et gérer ainsi, au fur et à mesure, l'apprentissage des nouveaux concepts.
9. La réponse envoyée par un participant concernant la spécificité sur un terme, est reçue par le module d'analyse syntaxique. Celui-ci décèle s'il s'agit d'une information sur l'ontologie, envoie un stimulus à la phase de mise à jour qui récupère l'information, c'est ce que représente la phase 9.
10. La phase 10 a un double objectif: d'une part, regarder au sein de l'ontologie existante si le concept reçu existe déjà et d'autre part, insérer le nouveau concept appris à son emplacement spécifique. Ceci permet d'enrichir et d'actualiser l'ontologie de l'apprenant vis-à-vis de la conversation qui s'est tenue.
11. En cas d'incompréhension du concept reçu, l'apprenant va le signaler au participant qui lui enverra alors un concept encore plus générique. Cette formulation de nouvelle question se fait au niveau du module de réponses comme l'indique la phase 11. Cette phase permet aussi d'envoyer un message au conseiller indiquant que tous les nouveaux termes sont appris et qu'il peut devenir participant si cela est possible.

Nous avons donc examiné en détail le déroulement normal de la phase d'apprentissage, et avons vu qu'elle respecte un certain ordonnancement en fonction des stimuli émis en interne. Nous allons maintenant nous intéresser aux répercussions que peut avoir l'arrivée d'un nouvel agent dans l'environnement.

5.4.2 Gestion de l'arrivée d'un nouveau participant

Comme nous l'avons compris dans le chapitre précédent, il est possible, pour tout nouvel agent, de s'introduire dans l'environnement simulé dès lors qu'il s'est identifié auprès du conseiller et que tous les autres agents ont été informés de sa venue. Il peut alors prendre part à la discussion en cours et donner son avis sur le sujet sur lequel porte le débat.

Au niveau de l'apprenant, cette arrivée ne va rien changer en ce qui concerne le déroulement de son processus d'apprentissage. En effet, après avoir reçu le message d'information du conseiller lui indiquant une entrée, il va immédiatement aller demander à celui-ci des renseignements concernant cet agent afin de mettre à jour sa table de connaissances sur les participants. Ce traitement va être effectué de façon prioritaire pour pouvoir être en mesure de calculer un degré de confiance lorsque le moment sera venu. L'importance de stimuli spécifiques entraînant un certain type d'action prend ici toute sa signification puisque, vous vous en doutez bien, le cheminement suivi par ce type de renseignement ne va pas être le même que celui d'une réponse à une demande de précision sur un concept. Regardons, tout d'abord, cela de façon schématique grâce à la figure 5.5.

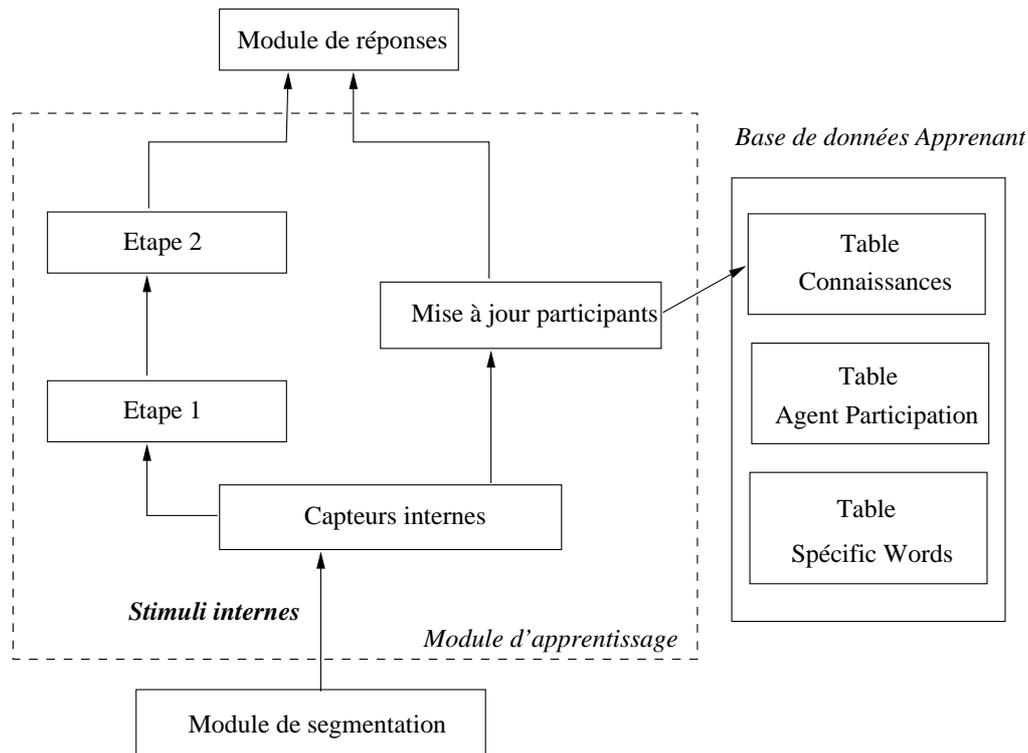


FIG. 5.5 – Gestion de l'arrivée d'un participant au niveau du module d'apprentissage

Nous constatons qu'entre le module de segmentation et le module d'apprentissage, des stimuli internes sont envoyés et se heurtent à une interprétation de la part des capteurs internes. En effet, en fonction de leur type, ces stimuli vont acheminer le contenu du message envoyé par le conseiller ou par un participant soit vers une analyse textuelle, soit vers la mise à jour de la table des participants. Ainsi, il est important de noter que ces deux processus sont parfaitement distincts lors de leur traitement et que l'un n'influe pas sur l'autre. D'ailleurs si l'on regarde le fonctionnement algorithmique de ce type de message, nous constatons aisément leur dissociation :

1. Réception par le module d'apprentissage du contenu du message envoyé par le conseiller, via un stimulus spécifique en provenance du module de segmentation
2. Connection à la base de données de l'apprenant et ouverture de la table des connaissances des participants
3. Enregistrement de toutes les informations personnelles et professionnelles relatives à ce nouvel agent
4. Fermeture de la table et déconnexion à la base de données
5. Envoi des informations au module de réponse afin de produire une réponse au conseiller (de type : « *J'ai pris note du nouvel arrivant* »)

Une fois cette nouvelle indication enregistrée, l'apprenant doit traiter les messages échangés avec ce participant comme tous les autres messages et il peut également l'interroger sur la signification d'un terme. Même si cet agent arrive en fin de conversation, tout ce qu'il dira sera analysé par l'apprenant. Cependant, en ce qui concerne le retrait d'un agent, les choses sont quelque peu différentes.

5.4.3 Gestion du départ d'un participant

A tout moment, il est possible pour les participants de quitter l'environnement simulé, soit de manière volontaire en informant auparavant le conseiller, soit de façon involontaire en se déconnectant (cela peut-être le cas si une machine tombe brusquement en panne). Bien entendu, des répercussions ont lieu au niveau de l'apprenant et de son processus d'apprentissage comme le montre la figure 5.6.

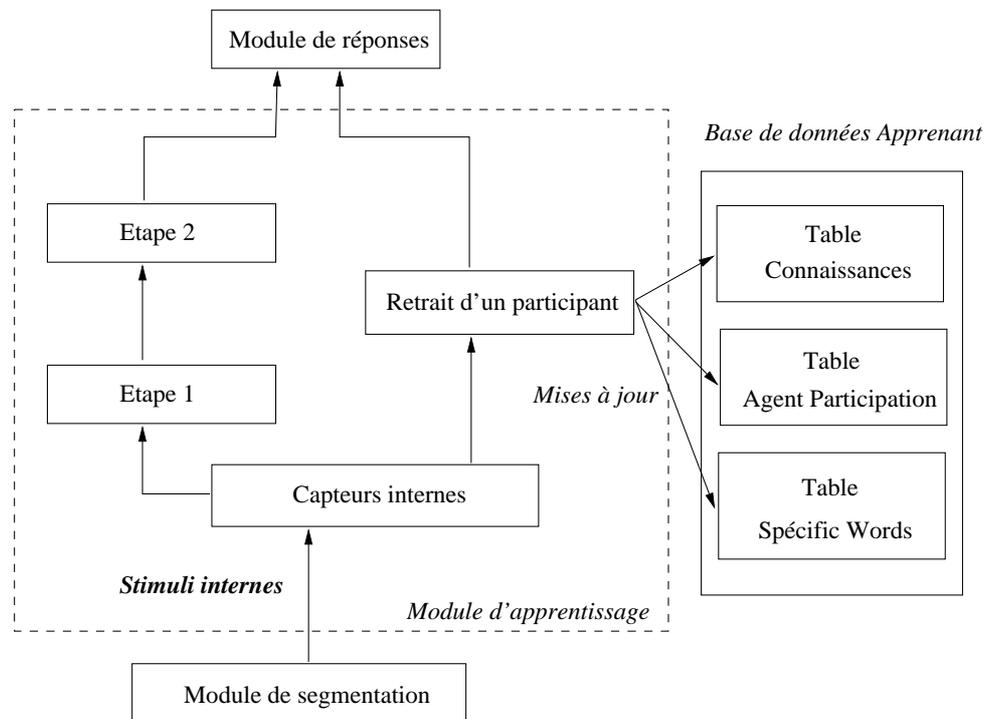


FIG. 5.6 – Gestion du départ d'un apprenant au niveau du module d'apprentissage

Nous remarquons sur ce schéma que les stimuli internes ont un rôle encore important à jouer puisqu'ils permettent d'orienter les messages envoyés vers le traitement le plus approprié. Lors de la signification du retrait d'un agent par le conseiller, le stimulus sera différent de celui envoyé au moment de l'arrivée d'un nouvel agent et il aurait été judicieux d'introduire, sur notre graphique, ces trois cas (nous ne l'avons pas fait pour des raisons de lisibilité). Ce message va entraîner trois réactions de la part de l'apprenant :

1. **Au niveau de la table de connaissances** sur les participants, l'agent sortant est supprimé de la table avec toutes les informations le concernant. S'il venait à se représenter un peu plus tard, il faudrait, à nouveau, tout enregistrer. Nous avons préféré supprimer automatiquement tout agent s'étant retiré de l'environnement plutôt que de le conserver un certain temps pour ne pas surcharger notre table inutilement. De plus, l'enregistrement en lui-même ne prenant que quelques secondes, il ne nécessite pas de ressources spécifiques au moment de son lancement.
2. Pour ce qui est de **la table des « specific words »**, l'apprenant va supprimer tous les mots exclusivement prononcés par cet agent, qui n'est plus présent pour pouvoir répondre à ses interrogations. Il est vrai que, peut-être, des informations importantes sont perdues mais vu qu'elles ont été dites que par un seul agent, il est difficile de demander à un autre participant s'il possède ou non ces concepts dans son ontologie. Cela permet, ainsi d'accélérer le processus d'apprentissage de

l'apprenant et il n'est pas du tout exclu qu'il puisse à nouveau trouver ces concepts et les apprendre lors d'un autre discours.

3. Enfin, pour **la table de confiance**, l'apprenant supprime également toutes les données relatives à l'agent. A la suite de toutes ces suppressions, l'agent sortant est considéré comme inexistant par l'apprenant.

Regardons d'un point de vue plus algorithmique comment ce retrait est enregistré :

1. Réception par le module le module d'apprentissage du contenu du message d'information sur le départ d'un participant envoyé par le conseiller, via un stimulus spécifique en provenance du module de segmentation
2. Connection à la base de données
3. Accès à la table des connaissances, recherche de l'agent par son identifiant (il s'agit des initiales de son nom et son prénom), suppression de tous les champs relatifs à cet agent puis fermeture de la table
4. Accès à la table des « *specific words* », recherche de tous les termes dont l'expéditeur est l'agent sortant, suppression de toutes les lignes relatives à ces termes, fermeture de la table
5. Accès à la table « *Agent participation* », recherche de l'agent par son identifiant, suppression de tous les champs relatifs à cet agent, fermeture de la table
6. Déconnexion de la base de données
7. Envoi des informations au module de réponses afin de produire une réponse au conseiller (de type : « *J'ai pris note du départ de ce participant* »)

Nous avons donc vu comment l'arrivée ou le retrait d'un participant influence le processus d'apprentissage de l'apprenant et son impact sur sa base de données. Nous nous sommes aperçus que, bien que ces événements soient traités de façon différenciée par le module d'apprentissage, ils font tout de même partie intégrante de ce module et ont, de ce fait, un traitement spécifique.

Nous allons, à présent, nous intéresser à la gestion d'un nouveau dialogue par l'apprenant alors que son premier processus d'apprentissage n'est pas terminé.

5.4.4 Synchronisation pour un nouveau dialogue

L'objectif principal des participants est, finalement, de dialoguer entre eux sur un sujet particulier pour échanger leurs idées et leurs points de vue. D'ailleurs, en élaborant notre modèle, nous désirions, avant tout, nous rapprocher le plus possible des comportements humains et il est vrai qu'en dehors d'apprendre, une des principales activités de l'être humain est de communiquer avec les autres. Par conséquent, à tout moment, tous les participants peuvent intervenir dans une conversation à leur gré.

Nous avons notifié dans les paragraphes précédents que lorsqu'une conversation entre participants est terminée, ceux-ci envoient un message à l'apprenant l'avertissant de leur disponibilité à répondre à ses questions. Nous avons alors convenu que le but des participants est, dans ce cas précis, de coopérer avec l'apprenant sous peine d'être exclus de l'environnement par le conseiller. Cependant, absolument rien ne leur interdit de recommencer un nouveau dialogue alors que la phase d'apprentissage de l'apprenant n'est pas totalement terminée. Dans ce cas, voyons comment sont gérés ces nouveaux messages par le module d'apprentissage à travers la figure 5.7.

Le dessein de l'apprenant dès l'écoute d'une conversation est, comme nous l'avons dit au

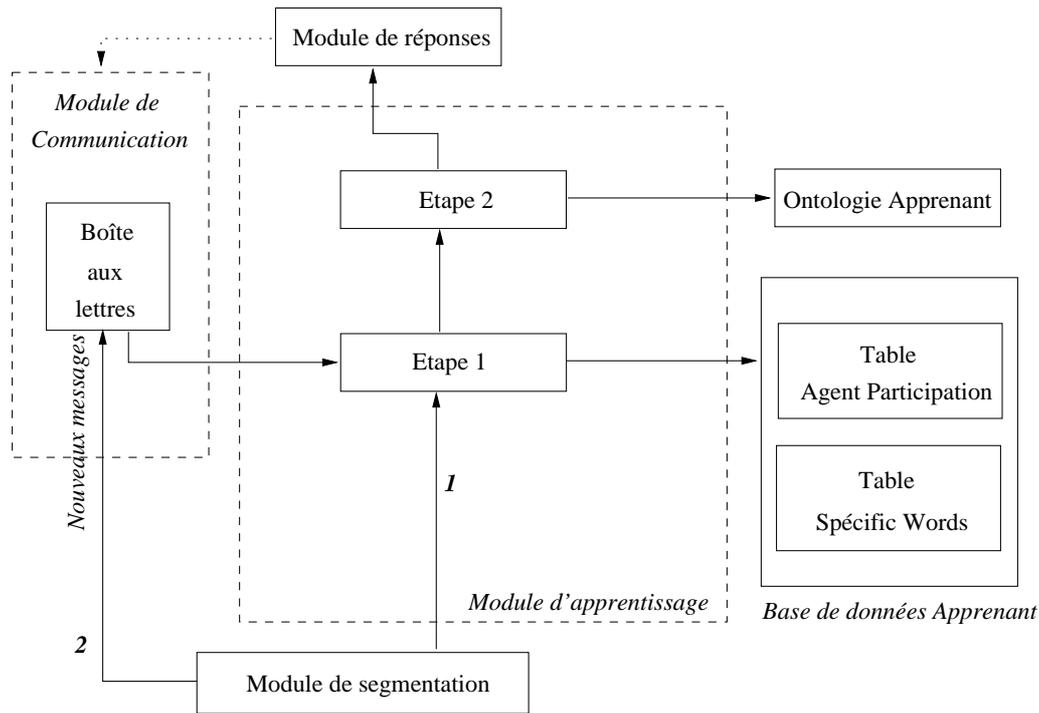


FIG. 5.7 – Gestion d'un nouveau dialogue au niveau du module d'apprentissage

cours de ce chapitre, d'apprendre de nouveaux concepts. En conséquence, quelques soient les éléments extérieurs qui interviennent, les deux étapes liées au processus d'apprentissage vont continuer à s'effectuer jusqu'à ce que la table des « *specific words* » soit vide (c'est ce que nous avons symbolisé par le numéro 1 sur le graphique 5.7). Ainsi, les messages envoyés par l'apprenant aux participants concernant la demande de précision sur un concept, sont traités de façon prioritaire. Ils peuvent donc interrompre une conversation en cours pour modéliser leur réponse.

Par contre, pendant la fin de son premier processus d'apprentissage, l'apprenant reste attentif à ce qui se passe dans l'environnement et continue à recevoir la copie des messages envoyés entre participants pour les analyser. En attendant de pouvoir les traiter et recommencer les étapes d'apprentissage, tous ces messages sont stockés par ordre d'arrivée dans la boîte aux lettres du module de communication (représenté par le numéro 2 sur la figure). Là encore, un certain stimulus est envoyé par le module de segmentation pour indiquer l'arrivée de nouveaux messages et leur stockage temporaire.

Analysons, d'un point de vue algorithmique, comment se gère l'arrivée de ces nouveaux messages au sein du module d'apprentissage (en supposant que le premier apprentissage ne soit pas terminé) :

Tant qu'apprentissage en cours n'est pas terminé (cela consiste à regarder si la table des « *specific words* » est vide)

1. Envoi d'un stimulus de la part du module de segmentation indiquant la réception d'un message du dialogue émis entre deux agents participants ;
2. Réception par le module de communication ;
3. Envoi du message à la boîte aux lettres qui le stocke de façon transitoire.

Fin Tant que

Dès lors que la table des « *specific words* » est vide :

1. Envoi d'un stimulus à la boîte aux lettres indiquant la fin du premier apprentissage
2. Envoi du premier message contenu dans la boîte aux lettres à l'analyse textuelle
3. Stockage des mots issus de cette analyse dans la table des « *specific words* »
4. Réception du message suivant contenu dans la boîte aux lettres par l'analyse textuelle
5. Une fois toute la boîte aux lettres vidée, démarrage de l'étape 2 du processus d'apprentissage

Nous avons essayé de voir dans ce paragraphe, les différentes façons dont se comporte l'algorithme d'apprentissage en cas d'interventions d'événements extérieurs. Nous avons pu en conclure, que dans tous les cas, l'apprentissage en cours effectué par l'agent apprenant ne peut être interrompu sauf, bien entendu, si les concepts restant à apprendre sont prononcés par un agent important qui quitte l'environnement brutalement. Il va de soit que, pour ce qui est d'un nouveau dialogue, l'apprenant peut décider de ne pas poursuivre une nouvelle phase d'apprentissage et de vouloir plutôt essayer de devenir un participant actif et désireux de prendre part à une conversation. Dans ce cas, tous les messages contenus dans sa boîte aux lettres ne passent pas par les deux étapes d'apprentissage et sont supprimés dès le changement de statut de l'agent.

5.5 Synthèse

Nous nous sommes efforcés, dans ce chapitre, de présenter de façon détaillée le processus d'apprentissage d'un agent ALONE. Nous avons vu qu'il se décompose en deux étapes :

1. **Une première étape d'écoute passive** de toutes les conversations (avec une analyse textuelle sur chacun des messages envoyés entre participants et une analyse statistique sur les termes extraits pour dégager les plus importants) ainsi qu'un calcul de confiance pour tous les participants présents lors du dialogue simulé. Deux tables sont alors créées dans la base de données de l'apprenant : la table « *Agent Participation* » (avec la participation à accorder à chaque agent) et la table « *specific words* » (contenant tous les termes classés par ordre décroissant de fréquence d'apparition, prononcés lors d'un discours)
2. **Une deuxième étape d'interrogation des participants** concernant la définition de tous les termes contenus dans la table de « *specific words* » et la mise à jour de l'ontologie, qui devient alors en adéquation avec le domaine simulé.

Lors du déroulement de chacune de ces étapes, notre apprenant utilise toutes ses connaissances de base, comme le montre la figure 5.8 qui synthétise le module de prise de décision en intégrant tout ce que nous avons pu voir précédemment.

En ce qui concerne le déroulement du processus d'apprentissage à proprement parler, nous nous sommes rendus compte qu'aucun événement extérieur ne peut le perturber et que la prise en compte d'un nouveau dialogue ne peut se faire que si une première phase d'apprentissage est entièrement terminée. Notre agent peut donc finalement apprendre autant de nouveaux concepts qu'il le désire et ce, pendant le temps qu'il souhaite. La seule contrainte qui peut apparaître est une saturation au niveau de son ontologie si elle devient extrêmement complexe.

Nous avons aussi tenté de mettre en place une mesure de pertinence adaptée à notre problématique en essayant de garder à l'esprit le fait que nous nous situons dans le cas de la simulation de comportements humains. Par conséquent, cette mesure doit être considérée

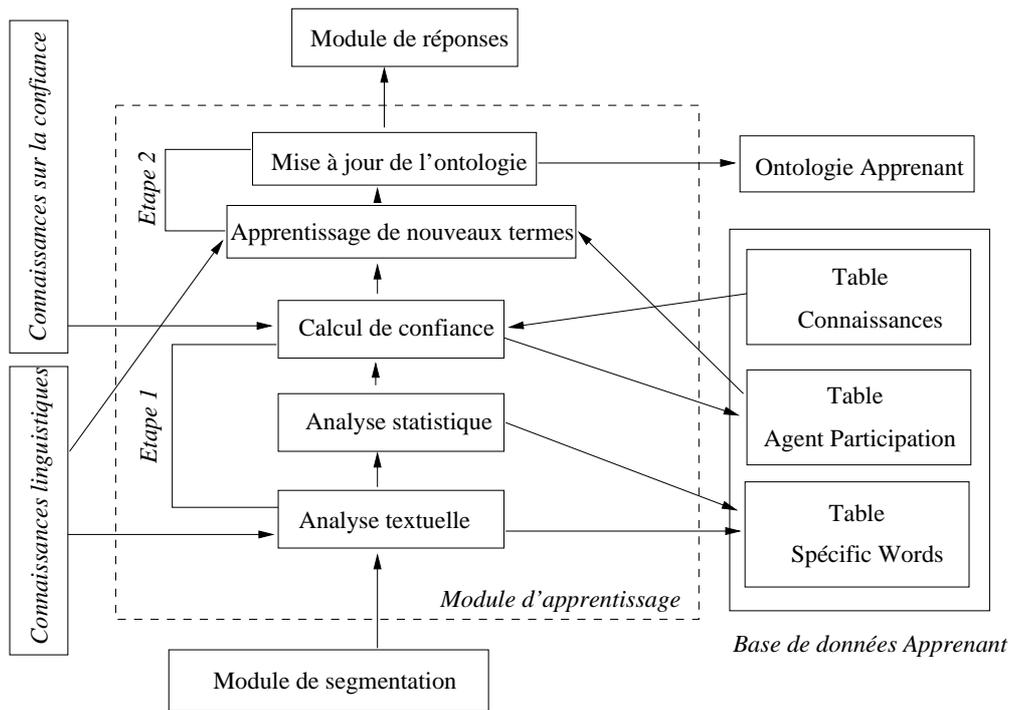


FIG. 5.8 – Synthèse du fonctionnement d'un apprenant

comme une façon de vérifier que des concepts ont été appris, même si elle dépend très fortement de la complexité de l'ontologie du conseiller.

En conclusion, nous pouvons dire que pour chacune des étapes, nous avons mis en oeuvre aussi bien des techniques issues de la linguistique (dans le cadre de l'extraction d'informations au niveau des messages) que de l'éthologie des communications (pour la détermination du degré de confiance à accorder à un agent) afin de rendre pluridisciplinaire notre approche et d'apporter une vision originale à la problématique de l'apprentissage dans les systèmes multi-agents. Toutefois, notre objectif n'était pas non plus de « révolutionner » l'univers multi-agents mais plutôt d'essayer de voir si des travaux spécifiques des sciences sociales (tels que des travaux de psychologie, d'éthologie des communication...) pouvaient être conjugués à des spécificités théoriques qu'entraînent les systèmes multi-agents.

Au cours de cette troisième partie, nous avons présenté de manière théorique l'environnement ALONE que nous avons construit, en essayant d'être le plus exhaustif et le plus minutieux possible pour que le lecteur se fasse une idée précise de notre modèle et se rende compte des possibilités techniques qui en découlent. Nous avons, premièrement, décrit les trois types d'agents qui existent dans notre environnement ainsi que leurs objectifs et leur cycle de vie. Deuxièmement, nous nous sommes concentrés sur un agent en particulier et avons développé son processus d'apprentissage. Une étape importante reste donc à notre travail de thèse : la validation de notre proposition.

La quatrième partie sera consacrée à ceci. Nous nous intéresserons, tout d'abord, à l'implémentation de notre modèle et verrons comment il s'articule sur la base d'une plate-forme multi-agents (chapitre 6). Puis, nous analyserons les diverses expérimentations que nous avons menées dans un domaine bien spécifique: celui du milieu médical (chapitre 7).

Quatrième partie

Validation du modèle :

Implémentation et Expérimentations

Chapitre 6

Implémentation d'ALONE

« Le langage n'exprime pas tout de l'homme. La pensée verbale n'est peut-être pas la forme essentielle et ultime de l'intelligence humaine. »

Sir A. Hardy.

6.1 Introduction

Afin de pouvoir tester la validité de notre modèle d'agent apprenant ALONE, nous avons décidé de l'implémenter en essayant de rester le plus fidèle possible à nos contraintes théoriques. Cette implémentation s'est déroulée en deux temps : dans un premier temps, nous avons créé les trois types d'agents que nous avons proposés (des participants, un apprenant et un conseiller) en les dotant de toutes les fonctionnalités et les connaissances indispensables à leur dessein. Puis, dans un deuxième temps, nous avons voulu montrer l'intérêt de notre proposition en créant des agents physiquement répartis sur des ordinateurs différents afin de les « laisser s'entretenir » et apprendre à leur gré. De ce fait, notre objectif de simuler des comportements humains prend toute son importance puisque nous nous retrouvons, à l'image du conseil de classe que nous avons pris pour exemple tout au long de cette thèse, en présence d'un « conseil de classe d'ordinateurs ».

Pour se faire, comme le montre la figure 6.1, nous avons créé un programme informatique (se nommant ALONE, comme notre modèle), se basant sur un environnement de développement multi-agents (DIMAX) mais possédant ses spécificités (une interface de lancement, des classes correspondant à nos types d'agents, des liens avec des données extérieures telles que des ontologies ou une base de données pour l'apprenant).

Nous nous proposons, dans ce chapitre, de voir de manière plus détaillée chacun des outils présent sur le schéma afin de mieux comprendre leur fonctionnement et leurs objectifs. Ce chapitre s'articule, donc, autour de cinq paragraphes : le premier présente succinctement DIMAX, le deuxième expose la classe « BasicComAgent » qui sert de lien entre DIMAX et ALONE, la troisième s'attarde sur les caractéristiques des classes relatives à chacun de nos agents et la quatrième présente l'interface ainsi que le fichier de paramètre permettant de lancer le programme. Nous concluons enfin, sur les possibilités d'évolution de notre outil et la rapidité de son installation.

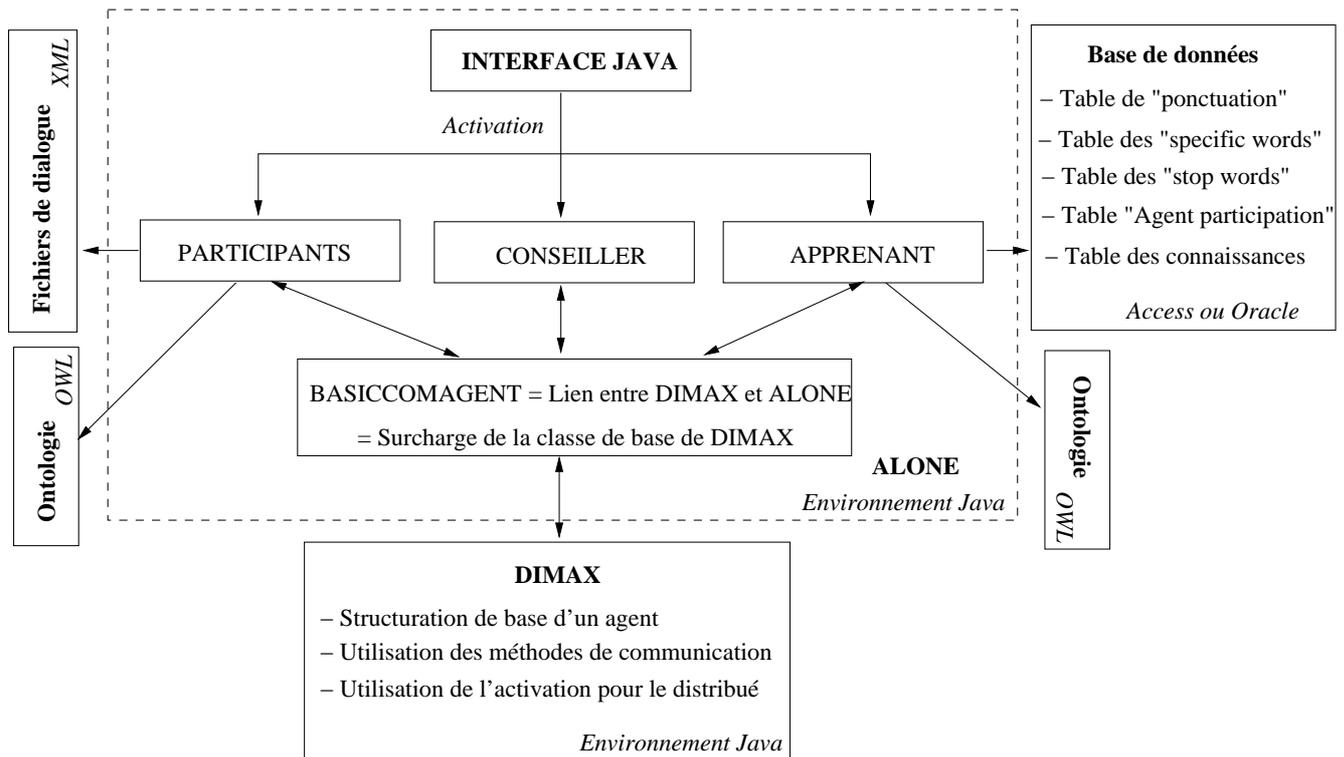


FIG. 6.1 – Architecture logicielle générale

6.2 DIMAX : une architecture modulaire d'agent

6.2.1 Introduction

L'une des premières questions que nous nous sommes posés au moment de la validation de notre proposition théorique, est de savoir s'il faut ou non développer entièrement une plate-forme? Avant de nous lancer dans cette étape, nous avons commencé par étudier les différentes plate-formes qui s'offrent à nous (Magique, Madkit, Jade...) en regardant dans quels objectifs elles ont été construites. Nous nous sommes alors aperçus que l'environnement développé par Zahia Guessoum durant sa thèse [GUE96] correspond, pour une partie, à nos attentes. En effet, DIMA (Développement et Implémentation de Systèmes Multi-Agents) combine plusieurs avantages :

- Son architecture d'agents propose de décomposer chaque agent en différents modules qui représentent les différents comportements d'un agent tels que la perception (interaction agent-environnement), la communication (interaction agent-agent) et la délibération. La partie communication est particulièrement bien développée et permet de gérer facilement les messages échangés.
- Les agents peuvent être créés dynamiquement et avoir des cycles de vie bien définis. Ces agents sont également dotés de mécanismes pour adapter leurs comportements aux changements de leur univers.
- DIMA possède une architecture modulaire et des bibliothèques offrant les briques de base permettant de construire des modèles d'agents divers. Les bibliothèques de DIMA regroupent des classes qui peuvent être réutilisées et/ou adaptées pour construire facilement des agents. Ces classes peuvent être instanciées ou sous-classées pour implémenter un comportement.

- Elle a la particularité d'avoir une version répartie permettant de faire facilement du distribué physique (il s'agit de DARX - Dynamic Agent Replication eXtension -).
- Elle est relativement facile d'accès et dispose d'un certain nombre d'exemples expliqués permettant une prise en main rapide.
- Enfin, elle est développée en Java et ses sources sont en libre-accès.

A partir de ces données, nous avons décidé de l'étudier entièrement et de dégager les parties qui peuvent servir de base à notre modèle (en particulier au niveau de la gestion des messages et des contraintes engendrées par l'implémentation du distribué). Dans cette partie, nous nous proposons de voir le fonctionnement de la classe de base de DIMA ainsi que le déroulement de DARX. Par contre, pour les lecteurs désirant plus de précisions sur cet environnement, nous leur recommandons les articles suivants : [GUE00], [GUE98], [GB99], [THI01], [ZIM99].

6.2.2 Fonctionnement de DIMA à travers un agent

Dans DIMA, un agent est considéré comme une entité autonome (elle opère sans l'intervention d'humains ou d'autres agents), pro-active (elle a un but et son activité est conduite par ce but), sociable (elle peut interagir avec les autres) et adaptative (elle s'adapte aux changements de son environnement) [GUE00]. Afin de définir une architecture générique prenant en compte ces propriétés, différents modèles d'agents sont proposés (en faisant la distinction entre agents réactifs et agents cognitifs. Voir paragraphe 3.1.1 pour plus de détails sur les caractéristiques de ces deux types d'agents) et l'accent est plus particulièrement mis sur la construction d'un agent hybride combinant les avantages de chacun des précédents modèles. Ainsi, ceci se reflète dans la classe « *BasicCommunicatingAgent* », qui dérive d'une classe d'agent réactive et introduit tous les comportements engendrés par la communication. Elle sert de point d'entrée dans l'environnement et tout nouvel agent créé doit obligatoirement hériter de cette classe. Bien entendu, cette classe possède toutes les méthodes pour définir le cycle de vie d'un agent, sa communication et les différentes étapes de son comportement, comme nous allons le constater.

Le cycle de vie d'un agent

Pour concevoir un agent, le constructeur de « *BasicCommunicatingAgent* » est utilisé. Il prend en compte :

- Un identifiant de type « *AgentIdentifier* » avec le nom de l'agent.
- Une liste d'acointances permettant de créer des liens entre les différents agents. Ces acointances sont initialisées grâce à la méthode « **addAcquaintance()** » en indiquant l'adresse et l'identifiant de l'agent.

Une fois ces informations connues, l'agent peut-être activé grâce à la méthode « **activate()** » qui active le processus associé à un agent (son *thread*) et exécute la méthode « *startUp()* », dont le code qui lui est associé est le suivant :

```
public void startUp(){
    this.proactivityInitialize();
    this.proactivityLoop();
    this.proactivityTerminate();
}
```

Les méthodes « *proactivityInitialize()* » et « *proactivityTerminate()* » ne sont appelées

qu'une seule fois en début et fin d'activation de l'agent. Quant à la méthode « *proactivityLoop()* », elle définit la vie de l'agent grâce au code suivant :

```
public void proactivityLoop(){
    while( (this.isActive()) (this.isAlive()) ) {
        this.preActivity();
        this.step();
        this.postActivity(); }
}
```

La méthode « *isActive()* » teste si l'agent est encore actif et la méthode « *isAlive()* » vérifie si l'agent est encore en vie. De ce fait, tant que l'agent est en vie et actif, les trois méthodes « *preActivity()* », « *step()* » et « *postActivity()* » s'enchaînent.

Après avoir vu le cycle de vie d'un agent, nous allons nous intéresser à sa communication.

La communication entre agents

Tous les messages envoyés ou reçus par les agents se composent de :

- L' « *AgentIdentifier* » de l'émetteur ;
- L' « *AgentIdentifier* » du récepteur ;
- Du type du message à envoyer (java ou texte) ;
- De la liste des arguments du message.

Les messages peuvent être envoyés à un ou plusieurs agents (via la méthode « **sendMessage()** ») ou à tous les agents de l'environnement (méthode « **sendAll()** »). Pour la lecture des messages, la méthode « **readAllMessages()** » est utilisée et vérifie que l'agent possède des messages dans sa boîte aux lettres par l'intermédiaire de la fonction « *hasMail* ». Si cette méthode renvoie la valeur vraie, la fonction « **ProcessNextMessage()** » récupère le premier message, le lit, le supprime et passe au second message.

Pour illustrer le fonctionnement de ces méthodes, voici un extrait de code :

```
public void sendMessage(AgentIdentifier agentId, Message am) { //Envoi d'un message
```

```
    am.setSender(this.getIdentifier());
    am.setReceiver(agentId);
    if (acquaintances.containsKey(agentId.toString()))
        com.sendMessage(
            ((AgentAddress) acquaintances.get(agentId.toString())), am);
    else
        com.sendMessage(am);
}
```

```
public void processNextMessage() { //Lecture d'un messages puis passage au suivant
    Message m = (Message) this.getMessage();
    if (m.getType().equals("java"))
        m.process(this);
    else
        this.processAclMessage(m);
}
```

```
public void readAllMessages() { //Lecture de tous les messages
    while (this.hasMail())
        this.readMailBox();
}
```

...

Toute la partie concernant la communication entre agents dans DIMA permet de gérer tous les types de messages (basés sur du KQML, FIPA-ACL ou autre.), leurs envois et leurs réceptions (qu'ils soient envoyés à un ou plusieurs expéditeurs), ce qui nous est particulièrement utile dans notre programme.

Nous allons, pour finir, donner un petit exemple d'exécution d'un agent.

Exemple d'étapes d'exécution d'un agent

Dans la méthode « **step()** » de la classe « *BasicCommunicatingAgent* », l'utilisateur inscrit les étapes suivies par l'agent durant son exécution. Donnons un exemple au cours duquel un agent doit envoyer un message à un autre agent et afficher ensuite cette information à l'écran :

```
public void step() {
    Message m = new Message("Bonjour tout le monde"); //description de ce que
    contient le message
    m.setType("text"); //type du message = texte
    sendMessage(new AgentName("A2"), m); //envoi du message à l'agent A2
    System.out.println("Agent A1 envoie un message"); // Information inscrite sur
    l'écran
    wwait(1000); // Met le processus en "pause". Ainsi, grâce à cette méthode, plusieurs
    agents (ou processus) peuvent être activés en même temps.
}
```

A travers cette brève présentation de DIMA, deux éléments clés apparaissent : d'une part, il est facile de créer un agent et de l'activer. D'autre part, tous les outils existent pour faciliter le développement des moyens de communications (possibilité de créer des messages de types différents, de les envoyer dans des modes spécifiques...).

Nous n'avons, bien entendu, pas présenté toutes les possibilités techniques de DIMA pour ce qui est de la construction de réseaux ATN ou les bibliothèques existantes pour instancier un agent, mais nous laissons le lecteur se documenter sur ce point.

Nous allons, pour le moment, nous concentrer sur une partie importante de DIMA permettant de faire du distribué : DARX.

6.2.3 Fonctionnement du distribué avec DARX

Introduction

L'objectif de DARX, développé en 1999 au Lip6, est de fournir, outre le service de tolérance aux fautes et de distribution à large échelle, un support système générique pour l'interopérabilité entre différents systèmes multi-agents. Il se présente sous forme d'un environnement pour la programmation d'applications réparties communiquant par échange de messages. Chaque tâche peut se voir répliquée en un nombre illimité d'exemplaires,

selon différentes politiques. Basé sur une architecture réflexive, il prend en charge la gestion des communications entre groupes de répliquats (permettant l'envoi et la réception de messages synchrones et asynchrones) aussi bien que la communication intra-groupes et assure qu'aucun message n'est reçu plus d'une fois [ZIM99].

La figure 6.2 présente le découpage architectural de DARX, qui se situe sous le niveau applicatif (SMA). Un serveur DARX (au moins) est lancé sur chaque site participant à la distribution de l'application, et une version distribuée du service de nommage, actuellement centralisée, est en cours de développement [THI01].

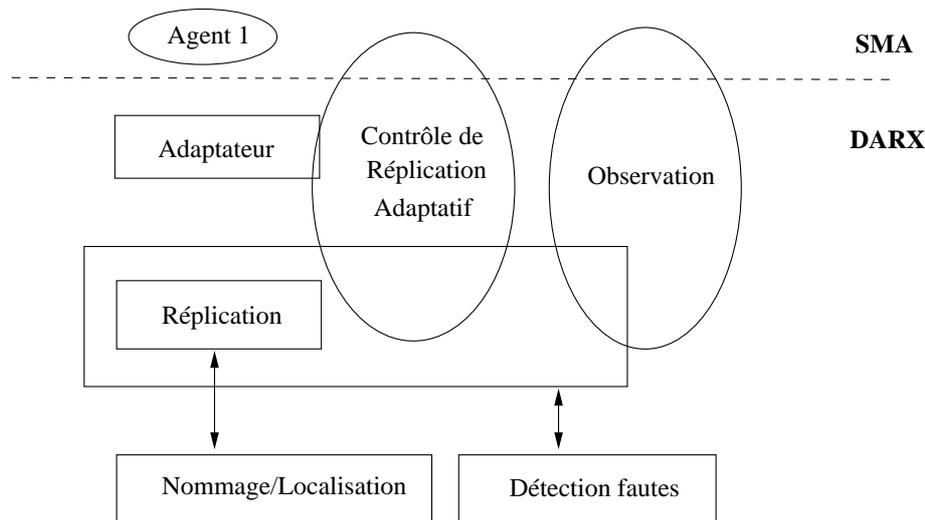


FIG. 6.2 – Architecture de DARX

DARX est entièrement développé en Java, la distribution (communication inter-agents, nommage) s'appuyant sur Java RMI (Java Remote Method Invocation. RMI permet de réaliser une application répartie avec une bonne transparence au niveau de la programmation bas niveau des sockets). A l'usage, DARX se révèle en fait suffisamment générique pour s'interfacer avec d'autres SMA, d'autant plus que la plupart des plate-formes multi-agents sont implémentées en Java.

Comme pour DIMA, regardons le fonctionnement d'un agent avec DARX et les changements qu'il lui incombe.

Création d'agents avec DARX

Nous avons vu dans le paragraphe précédent, qu'un agent était activé grâce à la méthode « *activate()* ». Dans DARX, cette fonction est invoquée par la méthode « **activateWithDarx()** ». Le code de l'agent en lui-même n'est pas changé mais des modifications apparaissent au niveau du module de communication qui est initialisé, non pas avec la classe par défaut mais avec une classe dérivée (celle-ci redéfinit l'envoi des messages avec des méthodes DARX). Il faut donc traduire les adresses DIMA en adresses DARX (qui contiennent un nom et une URL), enregistrées par le serveur de noms.

Voici un extrait du code d'« *activateWithDarx()* » qui montre la création du module de communication spécifique :

```
public void activateWithDarx(String url, int PortNb) {
    DarxTaskEngine darxEngine;
    darx.RemoteTask remote = null;
```

```

    darxEngine = new DarxTaskEngine(this);
    com = new DARXCommunicationComponent(darxEngine);
    try {
        remote = darxEngine.activateTask(url, PortNb);
    } catch (java.rmi.RemoteException e) {
        System.err.println("Error during Activation: " + e);
    }
}

```

Nous remarquons qu'en paramètre de la méthode, nous avons l'url de la machine et son port. La classe « *DarxTaskEngine()* » gère la suspension et la reprise d'un agent. Elle encapsule un thread qui exécute la boucle de contrôle de l'agent, en vérifiant à chaque étape si la tâche doit ou non être suspendue.

En ce qui concerne les messages, la réception de ceux-ci est assurée par la méthode « *DarxTask* », qui lorsqu'elle reçoit un message, le dépose dans la boîte aux lettres de l'agent correspondant. Chaque message échangé entre groupe DARX est encapsulé dans un objet « *DarxMessage* ». Ce dernier contient non seulement le contenu du message (qui est un objet java quelconque mais sérialisable. Il est à noter que tous les attributs de DARX sont sérialisables et qu'il s'agit d'une méthode indispensable au bon fonctionnement du distribué) mais également l'identité de l'émetteur et le numéro ordinal du message (informations qui serviront pour le filtrage des messages) émis par cette tâche comme le montre l'extrait du code suivant :

```

public DarxMessage(Serializable msg, String sn, int num) {
    this.msg=msg; //corps du message (objet sérialisable)
    senderName=sn; //nom de l'expéditeur
    serialNumber=num; //numéro de série du message
}

```

Comme nous pouvons le percevoir à travers cette brève présentation, la mise en place du distribué avec DARX est relativement simple à effectuer puisqu'elle nécessite peu de bouleversements au sein du fonctionnement de DIMA (seule la méthode « *activate* » est à changer. Bien entendu, tous les paramètres de configuration au niveau de Java RMI sont aussi à adapter). Ceci nous a convaincu des possibilités techniques de cette plate-forme.

6.2.4 Conclusion

Ce premier paragraphe nous a permis de présenter, en quelques points clés, la plate-forme DIMAX à l'origine de notre projet. Nous avons vu que la conception et la réalisation d'agents (quelque soit leur type, autrement dit qu'ils soient réactifs, cognitifs ou hybrides) est relativement aisée et que la modularité de l'architecture renforce une prise en main rapide.

De manière générale, nous sommes arrivés à la conclusion que tout agent crée est une sous-classe de la classe « *BasicCommunicatingAgent* », qui dispose de diverses méthodes (telles qu'« *Activate()* », « *addAcquaintance()* », « *sendMessage()* »...). Ces méthodes vont d'ailleurs nous servir de base pour l'élaboration de nos différents types d'agents. Elles seront surchargées afin d'être appliquées à notre problématique et se retrouvent dans notre classe de transition (la classe « *BasicComAgent* ») que nous allons détailler maintenant.

6.3 BasicComAgent : une classe de lien entre DIMAX et ALONE

6.3.1 Objectifs de cette classe

Cette classe, à l'image de la classe « *BasicCommunicatingAgent* » de DIMAX, sert de point d'entrée dans notre programme et définit un ensemble de méthodes qui sont utilisées par la suite par nos différents agents. Elle permet, de ce fait, comme dans DIMAX, d'activer l'agent (grâce à la méthode « *activate* » lorsque la simulation est non distribuée. Sinon, la méthode « *activatewithdarx* » est utilisée), de lui créer un identifiant, de définir son cycle de vie et d'initialiser son processus d'exécution (son « *step* »).

Elle comprend également des méthodes plus spécifiques à notre environnement telles que la création d'un fichier Log de sortie (dont l'objectif est de nous permettre de déterminer les étapes suivies par l'algorithme), la connection à une base de données externes (base de données ODBC de type Access ou Oracle) ou le parsing d'un fichier de type XML (en particulier pour la lecture des fichiers de dialogue).

En ce qui concerne la communication, une instance de la classe « *sendMessage* » de DIMAX est créée; il s'agit d'une nouvelle méthode « **sendReceiverMessage** » :

```
public void sendReceiverMessage(AgentMessage poAgentMessage){
    Message oMessage = poAgentMessage;
    String sAgentReceiver = poAgentMessage.getReceiverName();
    sendMessage(new AgentName(sAgentReceiver),oMessage);
    m_oLogger.info("SEND MSG Sender->" + poAgentMessage.getSenderName() + "
    Receiver->" + sAgentReceiver + " Message->" + poAgentMessage.getFullContent());
}
```

Toutes les méthodes de lecture d'un message se retrouvent au sein de nos différents agents comme nous le verrons dans le paragraphe suivant. Auparavant, revenons sur la méthode « **AgentMessage** » que l'on voit apparaître dans le code précédent. En effet, elle définit les éléments entrant en considération dans notre message (le nom de l'agent ayant envoyé le message, le nom du récepteur, la langue, le type de message et le contenu du message, comme nous l'avons défini dans le paragraphe 4.3.2) comme le montre l'extrait de code ci-après :

```
private void encodeMessage() {
    String sValue = "(" + getPerformative() + //Prise en compte de la performative
    ":sender " + getSenderName() + //Prise en compte du nom de l'agent à l'initiative
    du message
    ":receiver " + getReceiverName() + //Prise en compte du récepteur du message
    ":language " + getLanguage() + //Langue du message (Français ou anglais)
    ":content " + getContent() + ")"; //Contenu du message
    super.setContent(sValue);
    m_sFullContent = sValue;
}
```

La performative située en début de message a toute son importance puisqu'elle permet d'être clairement identifiée par le récepteur et de créer une réponse appropriée (comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 4, par exemple, la réception par l'apprenant d'un

message du discours entre participants n'entraîne pas le même type de comportement qu'une réponse à une de ses questions concernant la définition d'un concept). Regardons plus en détails les performatives que nous avons définies.

6.3.2 Performatives utilisées dans ALONE

Nous avons créé six types de performatives :

- La performative **Tell** : elle est utilisée uniquement lors d'un discours entre les participants. Si elle est reçue par un participant, elle entraîne l'envoi d'une autre performativité tell correspondant à une réponse apportée. Par contre, si elle est reçue par l'apprenant, elle déclenche le début de son processus d'apprentissage.
- La performativité **Ask** : elle est employée uniquement par l'apprenant. Elle lui permet de demander à un participant la signification d'un terme qu'il doit apprendre. Lorsqu'elle est reçue par le participant, elle initie la recherche du père de ce terme dans son ontologie (comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 5).
- La performativité **Answer** : elle permet à un participant de répondre aux questions de l'apprenant concernant la signification d'un concept. Lorsqu'elle est reçue par l'apprenant, elle provoque la mise à jour de son ontologie.
- La performativité **Ready** : elle est envoyée par tous les participants au conseiller lui indiquant qu'ils sont actifs dans l'environnement (*i.e.* Ils peuvent prendre part à une conversation et répondre aux questions de l'apprenant). L'apprenant, dès son entrée dans l'environnement, envoie également ce type de message au conseiller et aux participants pour indiquer sa présence.
- La performativité **Start** : Elle est envoyée à tous les agents de l'environnement par le conseiller afin d'initialiser le dialogue. Elle est également envoyée par le conseiller à un agent au moment de son arrivée dans l'environnement, et après que ce dernier ait vérifié la pertinence des données personnelles et professionnelles fournies. Dans ce cas, elle précise le statut de l'agent (participant ou apprenant) et donne les renseignements sur les participants s'il s'agit d'un apprenant.
- La performativité **Stop** : Elle est envoyée par tous les participants et indique à l'apprenant qu'ils ont terminé un premier discours et qu'ils peuvent répondre à ses questions. Elle est également envoyée par le conseiller pour notifier le retrait d'un agent ou pour indiquer à l'apprenant la fin de son stade d'apprentissage et sa possibilité de devenir participant. Elle marque aussi la fin de la simulation.

Donnons simplement un exemple de codage d'une de ces performatives (la performativité Tell) :

```
public class TellAgentMessage extends AgentMessage {
    public void setAttributes (String psSender, //Nom de l'agent ayant envoyé le message
        String psReceiver, //Nom du récepteur du message
        String psLanguage, //Langue du message (Français ou Anglais)
        String psContent) { //Contenu du message
        super.setAttributes("tell", psSender, psReceiver, psLanguage, "", psContent);
    }
}
```

A travers ces performatives, nous avons essayé de prendre en considération les fonctions

et les obligations de chaque agent que nous avons définies dans la partie théorique de cette thèse (chapitres 4 et 5). Il va de soit que d'autres performatives peuvent-être facilement créées en fonction des objectifs visés par chacun des agents. Nous allons d'ailleurs nous intéresser, dans la partie suivante, au fonctionnement pratique de nos trois catégories d'agents et voir comment nous avons traduit de manière informatique leurs activités et leurs actions.

6.4 Fonctionnement des agents dans ALONE

6.4.1 Les participants

Comme nous l'avons évoqué en début de paragraphe 4.3.2, les participants ont deux principaux objectifs : s'échanger des messages afin d'élaborer une « discussion » sur un sujet en particulier et répondre aux questions de l'apprenant.

En ce qui concerne le premier objectif, le participant doit :

Tant que Messages dans la boîte aux lettres

1. Lire le message ;
2. Envoyer une réponse appropriée.

Fin Tant que

On imagine très bien que ces deux étapes se situent dans le corps d'exécution de l'agent (son « *step* ») et qu'elles vont utiliser des méthodes très proches des méthodes « *readAllMessages()* », « *sendMessage()* » et « *processNextMessage()* » de DIMAX.

La lecture d'un message se fait en analysant la performative et le contenu de celui-ci afin d'apporter une réponse appropriée. En ce qui concerne cette réponse, pour des raisons pratiques (et étant surtout conscient du fait que l'intelligence en informatique est très limitée...), nous avons créé des fichiers de dialogue (comme le montre le schéma 6.1) pour chaque participant permettant ainsi de réaliser un enchaînement de phrases qui donne l'illusion d'un véritable dialogue. Ces fichiers sont écrits en langage XML et nécessitent des connaissances particulières au niveau de l'agent pour « parser » le message reçu et dégager les éléments clés. Ainsi, en fonction de la performative, l'agent peut renvoyer un autre « **TellMessage** » en utilisant les phrases contenues dans son fichier.

Cette méthode se présente sous la forme :

```
private void sendTellMessage(String psNextSentence) throws AgentException{
    try{
        TellAgentMessage oTellMessage = new TellAgentMessage();
        String sLanguage = m_oXMLSentences.getLanguage();
        XMLSentence oSentence = m_oXMLSentences.getNextSentence(psNextSentence);
        if (oSentence != null) {
            StringVector sReceivers = oSentence.getReceiver();
            for (int intI=0; intI<sReceivers.size(); intI++) {
                // création du format du message
                oTellMessage.setAttributes(...); }
            ...
        }
    }
```

Pour la réalisation du deuxième objectif, le participant doit :

1. Lire le message contenu dans sa boîte aux lettres ;

2. Interroger son ontologie pour trouver le père du concept demandé;
3. Envoyer la réponse au participant.

Pour ce qui est de la lecture du message et de l'envoi de la réponse, l'agent utilise les mêmes méthodes que précédemment mis à part le fait que la réponse envoyée est de type « **AnswerMessage** ».

En ce qui concerne la requête sur l'ontologie, le participant interroge un fichier OWL externe contenant son ontologie et lance une requête sur celle-ci comme le montre l'extrait suivant. Il est alors en mesure de spécifier à l'apprenant si le concept qu'il demande existe ou non dans son ontologie et quel est son père? (voir paragraphe 5.3.3 pour la notion de père dans un arbre).

```
public String getFather(String psTagChild) throws AgentException {
    try{
        String sReturnValue = "";
        if (m_oXmlDocument.getElementsByTagName(psTagChild).getLength() == 0) {
            sReturnValue = TechnicalObjs. ONTOLOGY_NOT_FOUND_WORD;
        }else{
            Node oParentNode = m_oXmlDocument.getElementsByTagName(psTagChild).
            item(0).getParentNode();
            if (oParentNode.getNodeName().equals("document")) {
                sReturnValue = TechnicalObjs. ONTOLOGY_TOP_WORD;
            }else{
                sReturnValue = oParentNode.getNodeName();
            }
            ...
        }
    }
}
```

Ayant décrit le fonctionnement des participants, nous allons maintenant nous intéresser à l'apprenant.

6.4.2 L'apprenant

Le schéma 6.1 illustre le fait que l'apprenant accède à deux types de données externes : une base de données qui contient des informations sur les participants et sur les mots émis durant une conversation (comme nous l'avons décrit dans le chapitre 5), et une ontologie succincte de base (au format OWL) qu'il va enrichir au fur et à mesure de son apprentissage.

En ce qui concerne la base de données, elle est au format Access ou Oracle (selon le volume de données à traiter. Elle peut également prendre n'importe quelle forme compatible avec une source de données ODBC) et se compose de cinq tables : une table de ponctuation contenant la liste des signes de ponctuation à supprimer lors de la première étape d'apprentissage, deux tables de « *stop words* » (une en français, l'autre en anglais) réunissant la liste des mots à enlever lors de la phase de nettoyage de l'analyse linguistique, une table de connaissances regroupant les informations personnelles relatives aux participants ainsi que leur participation durant la simulation, une table « *agent participation* » indiquant la confiance à accorder à chaque participant et enfin une table « *specific words* » incluant la liste des termes prononcés durant la conversation avec leur fréquence relative d'apparition

et le nom de l'agent qui les a prononcés. Grâce à ce format, la base de données peut à tout moment être enrichie et complétée selon la langue du texte étudié ou le nombre de « *stop words* » utilisé. La figure 6.3 donne un exemple des différentes tables que cette base peut contenir.

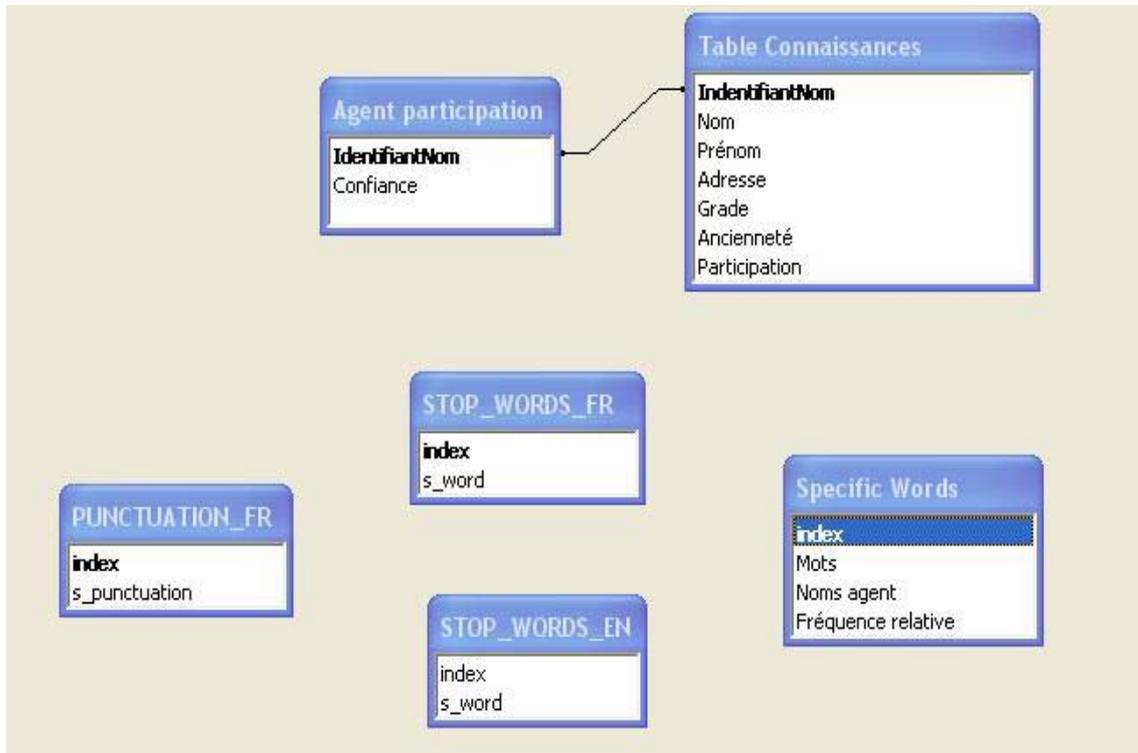


FIG. 6.3 – Représentation des tables de la base de données de l'apprenant

Pour l'envoi et la réception des messages, nous allons volontairement ne pas nous attarder, puisque le processus est le même que celui suivi par les participants (lecture dans la boîte aux lettres, traitement, envoi d'une réponse adaptée, traitement du message suivant).

Par contre, au niveau du déroulement du fonctionnement de l'agent, celui-ci va suivre les étapes d'apprentissage que nous avons décrites dans le chapitre précédent, à savoir une étape d'écoute passive (avec calcul de confiance) et une étape de validation des termes auprès des autres agents et de mise à jour de l'ontologie.

Pour la première étape, en ce qui concerne l'analyse textuelle et statistique des termes prononcés, l'algorithme va suivre le schéma suivant qui correspond exactement (si vous reprenez les étapes décrites en 5.2.2 et 5.2.3) aux deux types d'analyse :

```
public StoreSpecificWords(String psLanguage, String psODBCDataBase, BasicComAgent
poAgent) throws AgentException {
    m_oAgent = poAgent;
    m_oDataBaseConnection = new ConnectionDB();
    try {
        // connection à la base de données
        m_oDataBaseConnection.Connect(psODBCDataBase, poAgent);
        Statement oStatDB = m_oDataBaseConnection.getStatement();
        // suppression de tous les éléments de la base
```

```

SpecificWord oSpecificWord = new SpecificWord(oStatDB, poAgent);
oSpecificWord.deleteSpecificWordTable();
// recherche de la ponctuation
Punctuation oPunctuation = new Punctuation(oStatDB,psLanguage, poAgent);
m_sPunctuation = oPunctuation.getPunctuation();
// recherche des "stop words"
StopWords oStopWords = new StopWords(oStatDB,psLanguage, poAgent);
m_sStopWords = oStopWords.getStopWords();
// création d'un objet "specific word"
m_oSpecificWord = new SpecificWord(oStatDB, poAgent);
...
}

```

A la fin de l'étape 1, nous avons vu qu'un calcul de confiance est nécessaire pour déterminer à qui l'agent doit demander la signification d'un concept, en particulier si celui-ci a été prononcé par au moins deux agents. Nous avons pour cela, pris en compte le grade de l'agent, son ancienneté et sa participation et les avons agrégés, grâce à la méthode d'agrégation d'opinions proposée par Daniel Tounissoux, pour obtenir un classement des différents participants. Cet algorithme ayant été déjà programmé par Daniel Tounissoux pour l'un de ses programme de statistiques, nous l'avons réutilisée en l'adaptant à notre problématique. Une partie de cet algorithme recherche, par exemple, la partition optimale par recuit simulé (voir paragraphe 5.4.2 pour plus de détails sur ce calcul) comme le montre l'exemple ci-après :

```

void recuitSimule() {
...
if (( delta=calculDelta(i) > 0)
|| (Math.log(Math.random()) < delta/t)) {
int v=elDeRang[i];elDeRang[i]=elDeRang[i+1];elDeRang[i+1]=v;
change=true; if (delta!=0) deltaNul=false;
} }
t=t*rho; }
while (change !deltaNul );
date=new Date();time=date.getTime()-time;
}

```

A l'issue de l'ensemble de cet algorithme d'agrégation d'opinions, le résultat renvoyé dans la table Agent participation ressemble à :

IdentifiantNom	Confiance
MD	3
SP	1
LM	2

où l'IdentifiantNom représente les initiales du participant et la confiance la place de l'agent vis-à-vis des autres (par exemple, l'apprenant doit accorder plus de confiance à SP qu'à LM).

En ce qui concerne l'étape 2, l'apprenant interroge les participants sur la signification

des termes prononcés (il s'agit, comme nous l'avons dit dans le paragraphe 5.3.2, d'une phrase pré-formatée avec une performative de type Ask) puis les enregistrer au sein de son ontologie. Autrement dit, dès que cette phase est initiée, l'apprenant envoie un premier message de type « *AskMessage* » au participant concerné, extrait le terme de la réponse apportée, le stocke dans un premier temps dans sa table des « *specific words* » en face du terme inconnu. Une fois tous les termes appris, il reconstruit son ontologie au format voulu. Nous allons donner quelques exemples de code de cette étape qui peut-être plus ou moins longue en fonction du nombre de termes à apprendre.

Méthode pour traiter la réception d'une réponse sur la signification d'un terme

```
private void getInbox() throws AgentException{
    try {
        if (this.hasMail()){
            ...
        }else if (oAgentMessage.isAnswerPerformative()) {
            // Range les concepts de l'ontologie dans une base de données
            m_oOntologie.storeOntologyWord(oAgentMessage.getContent().toString(), oAgent-
            Message.getSenderName(), oAgentMessage.getOntology());
        }
    }
```

Méthode invoquée pour traiter le terme reçu relatif à la définition du terme demandé

```
public OntologyMessage(String psODBCDataBase, String psLearnerName, BasicComAgent
poAgent, String psConfianceFilePath) throws AgentException{
    m_oAgent = poAgent; try{
    // connection à la base de données
    ...
    // create a specificword object (place dans la base de données en face du concept demandé
    le concept reçu)
    m_oSpecificWord = new SpecificWord(m_oStatDB,poAgent);
    // création d'un objet "askWord" (si le concept reçu ne fait pas parti de l'ontologie de
    base de l'agent, l'apprenant doit à nouveau demander la signification de ce terme. Pour
    cela, ce nouveau concept est créé au sein de la table des "specific words" de l'agent)
    m_oAskWord = new AskWord(m_oStatDB,m_oAgentParticipation,poAgent);
    ...
    }
```

A partir des termes contenus dans la base de l'apprenant, méthode pour reconstruire l'ontologie dans un format approprié

```
public void getXMLTreeFile() throws AgentException {
    try {
        File ologFile = new File(m_sOntologyFilePath);
        FileWriter ofw = new FileWriter(ologFile);
        BufferedWriter oFileOut = new BufferedWriter(ofw);
        oFileOut.write(XML_HEADER + getChild(TechnicalObjs. ONTOLOGY_TOP_WORD));
        oFileOut.close();
    }
```

```
...
}
```

Au niveau de cet agent, nous avons également construit une méthode pour donner quelques statistiques à la fin du fichier de log. Ceci nous permet, entre autre, d'évaluer la performance (en terme de nombre de mots appris, de temps écoulé...) de notre algorithme d'apprentissage.

Après cette présentation sur l'apprenant, nous allons terminer par la description du conseiller.

6.4.3 Le conseiller

Dans le paragraphe 4.3.4, nous avons présenté le conseiller comme un agent ayant trois types de rôle : un rôle de guide envers l'apprenant puisqu'il lui fournit toutes les informations nécessaires au bon déroulement de son apprentissage, un rôle de dirigeant dans la mesure où il évalue le statut d'un agent - doit-il être participant ou apprenant - et un rôle de régulateur pour veiller au bon fonctionnement du système.

En ce qui concerne le rôle de guide, le conseiller possède une base de données - qui n'est pas représentée sur le schéma 6.1 pour des raisons de lisibilité - dans laquelle sont référencés tous les agents de l'environnement avec leurs informations personnelles et professionnelles. Selon l'importance des informations fournies, cette base peut-être créée sous Access ou Oracle, comme pour la base de données de l'apprenant. Ainsi, dès l'arrivée de l'agent dans l'environnement, le conseiller transfère automatiquement ces données à l'apprenant avec l'envoi d'un message contenant une « *Start* » performative.

Le rôle de dirigeant est pour le moment très peu implémenté dans la mesure où pour évaluer le statut d'un agent, le conseiller regarde seulement son grade - qui doit être en adéquation avec le domaine simulé - et son ancienneté - nous avons défini arbitrairement qu'elle doit être supérieure à un an pour que l'agent soit considéré comme un participant. En ce qui concerne le rôle de régulateur, le conseiller initialise le processus de dialogue en envoyant à tous les agents un message avec une « *Start* » performative :

```
private void sendMessageToAllAgents() throws AgentException {
    try {
        for (int iI=0; iI < m_sBasicAgentNames.size(); iI++) {
            StartAgentMessage oStartMessage = new StartAgentMessage();
            oStartMessage.setAttributes(this.getId().toString(),
            m_sBasicAgentNames.elementAt(iI));
            sendReceiverMessage(oStartMessage); }
        ...
    }
}
```

De la même manière, un message contenant une « *Stop* » performative marque la fin du discours. D'ailleurs, en ce qui concerne cette performative, elle permet aussi d'indiquer le départ d'un agent et la fin du processus d'apprentissage de l'apprenant.

Nous avons parlé dans ce rôle de régulateur du fait que le conseiller analyse la pertinence de l'apprentissage au niveau de l'ontologie de l'apprenant. Pour cela, nous avons, pour le moment, simplement programmé une petite méthode qui compare les champs de l'ontologie du conseiller avec ceux de l'apprenant. Cela ne constitue donc pas, en soi, une mesure

de pertinence efficace puisqu'une déviance légère mais correcte au niveau de l'ontologie de l'apprenant n'est pas analysée correctement...

En conclusion de ce paragraphe, nous pouvons dire que nous avons fait en sorte de programmer pratiquement toutes les fonctions de chacun des agents décrit de manière théorique, afin de tester véritablement leurs possibilités. Nous avons volontairement axé notre programmation sur l'agent apprenant puisqu'il constitue le coeur de notre modèle. A partir de là, de nombreux apports peuvent être réalisés au niveau des participants et du conseiller.

Pour terminer cette partie sur ALONE, nous allons voir le dernier élément qui apparaît sur la figure 6.1 : l'interface.

6.5 Lancement d'ALONE

6.5.1 L'interface de lancement

Afin de faciliter le lancement du programme et pour éviter à l'utilisateur de posséder un environnement Java, nous avons décidé de créer une petite interface de lancement. Celle-ci se veut, volontairement, extrêmement simple (comme le montre la figure 6.4) puisque les seuls moments où l'utilisateur peut prendre le contrôle sur le programme sont lorsqu'il choisit l'emplacement de ses fichiers de configuration et qu'il souhaite lancer le programme en distribué. Tout le reste est entièrement automatisé de façon à simuler au maximum des comportements humains autonomes.



FIG. 6.4 – Interface de lancement d'ALONE

Cette interface comprend :

- Un champ permettant de sélectionner le chemin où se situe l'emplacement de la simulation, en particulier le dossier où se trouvent les fichiers de dialogue de chaque agent et les ontologies.
- Un bouton « Stop » qui arrête la simulation en cours. Elle stoppe également le processus d'action des différents agents actifs à ce moment-là.
- Un bouton « Close » qui, après demande de confirmation à l'utilisateur, quitte l'environnement ALONE et l'application.
- Un bouton « About » donnant des renseignements sur la date et les concepteurs de l'application.
- Un bouton « Start without Darx » qui lance l'application de manière non distribuée. L'ensemble des messages et des étapes suivies par les agents apparaissent dans une

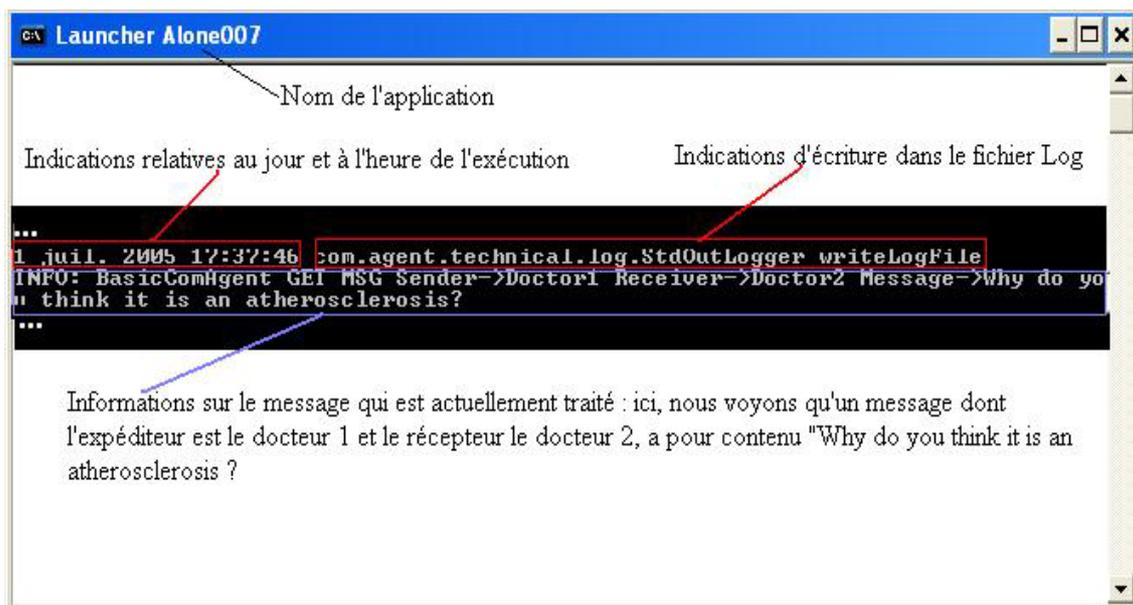


FIG. 6.5 – Exécution d'ALONE en non distribué

fenêtre d'invité de commande MsDos (mais également dans un fichier Log de sortie) comme le montre la figure 6.5.

- Un bouton « Start with Darx » qui lance l'application de manière distribuée. Auparavant, le serveur et les clients doivent être, bien entendu, activés et prêts à recevoir les informations. Sur chaque machine, il est alors possible de voir apparaître la fenêtre MsDos de l'agent simulé et les informations qui transitent par celui-ci (ces informations se retrouvent aussi dans un fichier de log de sortie spécifique à l'agent). La figure 6.6 résume d'ailleurs les différentes fenêtres que l'on peut voir.

Nous venons de voir en détails, l'interface de lancement d'ALONE, nous allons simplement terminer par le fichier de configuration que l'utilisateur doit remplir avant toute nouvelle simulation.

6.5.2 Le fichier de configuration

Il s'agit d'un fichier au format HTML définissant les différents renseignements relatifs à chacun des agents (leur nom, leur port, l'emplacement de leur fichiers de dialogue...). Ce fichier est parsé au moment du lancement de l'application (dès que l'utilisateur sélectionne le mode de lancement) pour permettre d'initialiser les différents agents. Voici un extrait de son contenu :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <config>
- <learner
  name="Learner">
  <constant name="LOG_FILE_PATH" value="Logs/Learner.htm" />
  <constant name="ONTOLOGY_FILE_PATH" value="Simulation01/Ontology_Learner.xml" />
```

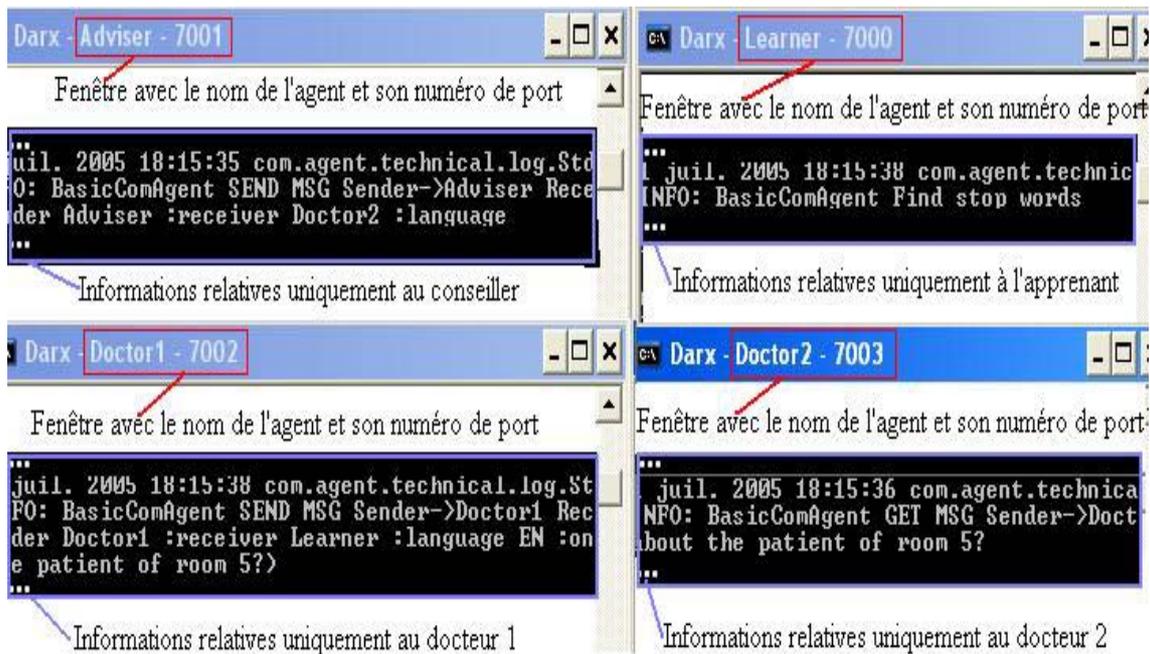


FIG. 6.6 – Exécution d'ALONE en distribué

```

<constant name="ODBC_DATABASE_NAME" value="AgentDB" />
<constant name="DARX_URL" value="ELBE" />
<constant name="DARX_PORT" value="7000" />
</learner>
- <basic_agent name="Doctor1">
<constant name="LOG_FILE_PATH" value="Logs/Doctor1.htm" />
<constant name="SENTENCES_FILE_PATH" value="Simulation01/Doctor1.xml"/>
<constant name="ONTOLOGY_FILE_PATH" value="Simulation01/Ontology_Doctors.xml"
/>
<constant name="DARX_URL" value="ELBE" />
<constant name="DARX_PORT" value="7002" />
...
- <adviser name="Adviser">
<constant name="LOG_FILE_PATH" value="Logs/Adviser.htm" />
<constant name="LEARNER" value="Learner" />
<constant name="BASIC_AGENT" value="Doctor1" />
<constant name="BASIC_AGENT" value="Doctor2" />
<constant name="DARX_URL" value="ELBE" />
<constant name="DARX_PORT" value="7001" />
</adviser>
...
    
```

Il est important de noter que pour faciliter l'écriture de ce fichier à l'utilisateur, nous avons fait apparaître aucun chemin d'emplacement de fichiers en entier mais seulement des chemins relatifs (par exemple : "Simulation01/Doctor1.xml" au lieu de "C:/users/Projets MultiAgents/Launcher/Simulation01/Doctor1.xml").

6.6 Conclusion

Ce chapitre avait pour principal objectif de présenter l'implémentation de notre modèle ALONE et de voir comment se valident les différentes caractéristiques introduites de façon théorique dans la partie précédente. Nous avons vu que l'ensemble de notre programme se base sur une plate forme multi-agents (DIMAX) pour ne pas redévelopper tous les protocoles d'interactions existants. Nous avons ainsi pu nous concentrer sur l'implémentation de nos différents agents et leurs accès à leurs données externes (bases de données, fichier d'ontologie...). Tout au long de la conception de l'application, nous avons tenté de réfléchir à son évolution possible et avons, pour cela, mis en place un certain nombre d'outils qui peuvent être facilement améliorés par l'utilisateur sans qu'il soit obligé de reprendre une partie du code Java. De plus, toutes les simulations peuvent être appliquées dans des contextes très divers et mettre en place un ou plusieurs apprenants ainsi qu'un certain nombre de participants.

Nous avons aussi mis en avant, le fait que notre application fonctionne en distribué (sur des machines physiquement réparties) même si les contraintes engendrées par Java RMI sont importantes (définition dès le départ des stubs, du serveur...). Dès lors, nous avons pu réaliser notre intention de départ : créer un environnement où des agents virtuels « discutent » et apprennent de façon autonome.

Enfin, cette application possède l'avantage de s'installer rapidement et nécessite très peu de contraintes techniques comme le montre le guide d'installation situé en annexe A. Cependant, il est à noter que ces contraintes peuvent être facilement supprimées en réécrivant certaines parties de DIMAX pour la rendre plus ouverte (enlever le nom de serveur codé en « dur », par exemple, en l'introduisant dans un fichier de paramètres facilement accessible par l'utilisateur).

Afin de tester les limites techniques de notre programme, nous allons maintenant analyser les simulations que nous avons réalisées dans un domaine bien spécifique : celui de la santé.

Chapitre 7

Expérimentations, évaluation et validation d'ALONE : application au domaine de la santé

« Pour que les choses paraissent nouvelles, si elles sont anciennes, et même si elles sont nouvelles, il faut, en art, comme en médecine, des noms nouveaux. »

M. Proust.

7.1 Introduction

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que l'implémentation de notre modèle d'agent apprenant a été réalisée et que ses possibilités d'évolution sont telles, qu'elles lui permettent de gérer des masses de données importantes (dans la limite des performances informatiques actuelles bien entendu!). Ayant résolu « l'aspect technique » de la validation de notre modèle, notre problématique est la suivante : dans quel domaine rechercher nos exemples de simulation pour que les étapes d'apprentissage de notre apprenant soient mises en valeur? Quel domaine pertinent choisir pour pouvoir démontrer l'intérêt de l'apprentissage d'une ontologie? En effet, deux paramètres sont à prendre en compte dans notre choix : l'apprentissage doit être régulier (*i.e.* de nouveaux termes apparaissent périodiquement ou sont spécifiques à un environnement) et la construction d'une ontologie doit être pertinente et avoir un sens. C'est pourquoi, notre choix s'est porté sur le domaine médical, et ceci pour deux raisons : d'une part, il s'agit du domaine de prédilection de notre laboratoire (le LASS) et d'autre part, c'est un domaine où les informations quotidiennes sont très nombreuses et il est essentiel pour les acteurs de ce système de se tenir au courant de chaque évolution, que se soit en matière de techniques (par exemple, de nouvelles techniques d'imagerie médicale pour la détection des sténoses carotidiennes chez les patients âgés...) qu'en matière de protocole (ex : un temps de lavage des mains plus important pour une meilleure hygiène). De plus, nous considérons que le personnel médical (médecins, infirmiers, aides soignants...), en fonction du service auquel il appartient, doit apprendre, dès son arrivée, un certain nombre de concepts spécifiques qu'il peut ne jamais encore avoir vu durant sa carrière (par exemple, le terme « hypoxie » sera exclusivement employé dans un service de pneumologie).

Si nous faisons un petit aparté sur l'intérêt des systèmes multi-agents vis-à-vis de ce domaine, force est de constater qu'il est grandissant puisque le milieu médical possède la particularité de se composer de systèmes complexes avec des composants hétérogènes et

de gérer des données et des ressources distribuées. Ainsi, la gestion des transplantations d'organes ou la prise en charge à distance des patientes atteintes de diabète gestationnel sont des problèmes types auxquels les SMA apportent des solutions adaptées et efficaces (nombre de transplantés augmenté, suivi des patientes régulier...). Nous nous situons donc, dans un domaine où les applications utilisant les systèmes multi-agents, de façon générale, sont en pleine expansion.

Dès lors, ce chapitre a pour objectif de présenter l'ontologie que nous avons utilisée pour nos simulations ainsi que les scénarii que nous avons développés pour tester les performances de notre programme. Nous verrons également les résultats que nous avons pu trouver en fonction des contraintes que nous nous sommes fixées (nombre de participants important, ontologie de base de l'apprenant excessivement succincte...) . Enfin, nous concluons sur ce domaine d'application et verrons que d'autres scénarii sont encore réalisables.

7.2 Présentation de l'ontologie du projet MENELAS

7.2.1 Intérêt de créer une ontologie médicale

Nous avons vu en introduction que notre choix de simulation s'est porté sur le domaine médical. Cependant, étant donné que notre processus d'apprentissage repose entièrement sur la mise à jour d'une ontologie, nous pouvons nous demander si le fait de créer une ontologie dédiée à la médecine est un choix judicieux et surtout, si cela a un véritable sens. Dans son HDR, Jean Charlet [CHA02b] aborde d'ailleurs très bien cette question et prend position sur le fait que la médecine, comme d'autres disciplines, fait partie de ces domaines où une modélisation ontologique est nécessaire. Pour lui, les ontologies sont une clé d'interopérabilité (si elles sont définies, construites et utilisées correctement) et permettent [CHA02b] :

- De gérer les concepts utilisés, que se soit au sein d'une écriture libre ou dans des interfaces intuitives, pour faciliter la communication entre les êtres humains;
- De créer un pont applicatif entre les différents types de terminologies, que se soit pour l'analyse de données cliniques, pour des travaux de traitement du langage naturel, pour des systèmes d'aide à la décision;
- De servir de support pour l'indexation et la recherche d'informations, en se basant sur des requêtes complexes demandant des inférences tout aussi complexes;
- D'assurer la maintenance et la cohérence des terminologies médicales en perpétuelle évolution.

Comme nous pouvons le constater, les ontologies en médecine ont un certain intérêt même si leur construction peut s'avérer longue et difficile en fonction de leur application. Cependant, cette formalisation paraît tout de même nécessaire dès que l'on souhaite utiliser l'informatique pour améliorer des processus de partage de connaissances et de décisions, comme c'est de plus en plus le cas dans le milieu médical. En effet, avec le développement, entre autre, de la télésanté (ce terme est défini comme étant l'utilisation des technologies de communication et d'information pour la prestation de services de santé et d'information sur la santé sur de grandes et courtes distances. Il répond à un certain nombre de besoins en offrant des services de médecine à distance, de soins à domicile et bien entendu un réseaux d'information en santé publique et en santé communautaire) l'utilisation de ressources communes bien définies et uniformes est une des clés de la réussite.

Pour nos travaux, nous avons travaillé avec une ontologie construite à partir de comptes rendus centrés sur des résultats de coronarographie [ZICM95a]. Nous rappelons au lecteur que nous avons décidé de représenter les connaissances d'un agent sous la forme d'une ontologie car nous considérons qu'il s'agit d'une représentation combinant de nombreux avantages, tels qu'une construction rapide des systèmes à base de connaissances en réutilisant des composants génériques au niveau du raisonnement et des connaissances du domaine. Nous allons nous attacher à présenter, un peu plus en détails, le projet à l'origine de l'ontologie utilisée.

7.2.2 Objectifs du projet MENELAS

MENELAS est un projet de l'union européenne sur lequel douze équipes en France, Irlande, Grande-Bretagne et Belgique ont travaillé de 1992 à 1995. Son objectif est de concevoir et d'implémenter un système pilote capable d'accéder à des rapports médicaux rédigés en langage naturel (dans 3 langues : anglais, français et néerlandais). Ce système analyse le contenu de rapports médicaux (comptes rendus d'hospitalisation pour des patients atteints, principalement, de maladies cardiaques) et l'archive dans une base de données sous forme d'un graphe conceptuel [ZICM94], [ZICM95b]. Ces structures, qui constituent la représentation de chaque compte rendu, doivent pouvoir ensuite être consultées pour accéder à des informations spécifiques [CHA02b]. Une partie des informations est encodée à l'aide de nomenclatures internationales, ce qui permet leur échange à partir de comptes rendus écrits en différentes langues [ZBB⁺95].

MENELAS repose sur l'hypothèse que la compréhension d'un compte rendu consiste à construire une représentation conceptuelle de la situation du monde décrit dans le texte. Cette hypothèse peut être justifiée par le fait que nous nous intéressons à des rapports techniques qui décrivent l'enchaînement des opérations subies par le patient durant son hospitalisation [CHA02b]. Le sous-système d'analyse du langage naturel inclus dans MENELAS utilise, entre autre, un analyseur morpho-syntaxique et un analyseur sémantique [CHA02b]. L'analyseur sémantique produit une représentation du sens sous forme de graphes conceptuels. Cette représentation correspond au sens littéral des phrases : elle est construite à partir d'une phrase en associant des concepts à des mots grâce à un lexique sémantique. La compréhension d'un texte repose sur l'utilisation de connaissances médicales et de connaissances de sens commun qui permettent d'inférer de nombreuses informations implicites [CHA02b].

La question de la construction de l'ontologie de MENELAS a été abordée de façon approfondie dans [BBCZ94] et [CBJZ96]. Au total, l'ontologie construite comporte plus de 1800 concepts et 300 relations (elle est accessible sur Internet à l'URL : <http://www-test.biomath.jussieu.fr/Menelas/Ontologie/>) dont nous allons citer un extrait dans le paragraphe suivant.

7.2.3 Exemple de structure de l'ontologie

Jean Charlet nous a fourni cette ontologie (voir un extrait en annexe B1) en anglais et en langage OWL (nous rappelons au lecteur que l'OWL est un langage qui permet de définir des ontologies pour le web et leur associer des bases de connaissances. Nous renvoyons au paragraphe 3.3.3 pour plus de précisions sur ce sujet). Néanmoins, pour des questions de lisibilité au sein de cette thèse, nous avons transformé ce fichier au format XML grâce à une règle XSLT (XSLT est, plus précisément, une feuille de style qui permet, entre autre,

de transformer de l'OWL en XML. Le format de cette règle est visible en annexe B2). Voici donc un extrait du début de cette ontologie :

```
-<ontology>
  - <entity>
    - <substratum>
      - <ideal_object>
        - <view_point>
        - <meta_abstract_object>
        - <attribute>
        - <physical_object_attr>
          <infarction_attr/>
        + <physiological_attr>
          <fixation_attr/>
        - <drug_attr>
          <administration_way>
          <proportion_attr>
        - <person_attr>
        + <physical_attr>
        + <demographical_attr>
          <personal_physiological_attr/>
          <sex/>
          </person_attr>
          <compressibility_attr/>
          <electric_potential/>
          <duct_flow/>
          </physical_object_attr>
        + <intentional_object_attr>
          <instanciation_attr/>
          </attribute>
        + <functional_object>
          </meta_abstract_object>
        + <meta_ideal_object>
          </view_point>
        + <notion>
          </ideal_object>
        + <abstract_object>
          </substratum>
        + <derived_notion>
      </entity>
    </ontology>
```

A travers cet extrait, nous pouvons constater que nous sommes en présence de concepts de

haut niveau (tels qu'une entité ou un point de vue), de concepts médicaux bien spécifiques (tels que les attributs relatifs aux médicaments) mais également à des concepts plus génériques sur les patients (tels que leur sexe, leurs spécificités démographiques...).

Ainsi, l'importance et la précision de cette ontologie, nous ont permis d'élaborer divers scénarii (toujours dans le domaine des maladies cardio-vasculaires) comme nous allons l'introduire dans le paragraphe suivant.

7.3 Description et résultats du fonctionnement des scénarii utilisés

7.3.1 Introduction

Pour nos simulations, nous avons étudié trois types de scénarii sur les maladies cardio-vasculaires (voir en annexe C les détails sur chacun d'eux. L'ensemble de ces scénarii a été rédigé en anglais compte-tenu de la langue utilisée dans l'ontologie) : trois scénarii sur le diagnostic de certaines pathologies (cardiomyopathie et maladie des coronaires), trois scénarii sur des techniques de chirurgie et d'imagerie médicale visant à mieux les détecter et enfin deux scénarii sur des facteurs de risque (obésité et asthme). Nous nous attacherons à présenter, pour chacun d'eux, un résumé du dialogue, les caractéristiques inhérentes à celui-ci, les objectifs fixés au niveau des résultats attendus et, pour conclure, les résultats trouvés. Nous essayerons, au niveau des résultats, de retrouver des mesures de temps communes à tous les dialogues de sorte à dégager une conclusion générale.

Avant de nous attarder sur ces simulations, nous allons préciser quelques éléments qui concernent les caractéristiques du matériel informatique que nous avons utilisé. Nous analyserons également deux éléments qui nous ont servis lors de notre calcul de confiance : les divers grades et ancienneté attribués à nos participants.

7.3.2 Quelques informations préliminaires...

Caractéristiques techniques

Nous avons réalisé l'ensemble de nos simulations, en local, sur un ordinateur bénéficiant d'un processeur Intel Pentium 4 540J, de 1Go de RAM et fonctionnant sous Windows XP. En ce qui concerne le distribué, nous avons utilisé, sur cette même machine, le logiciel VMWare permettant de simuler un véritable réseau et d'introduire, de surcroît, autant de machines (et du coup de participants) que nous souhaitons. Pour certains scénarii, nous avons utilisé, en plus de notre ordinateur, deux ordinateurs portables (un Pentium 4 de 512 de RAM et un Celeron 1.1 de 256 de RAM) pour tester si les paramètres au niveau de Java RMI fonctionnent bien sur du distribué physique.

Caractéristiques liées au calcul de la confiance

Pour ce qui est du calcul de confiance, nous avons mis en place, en accord avec des personnes du milieu médical, les classifications suivantes sur les trois éléments entrant en ligne de compte dans son évaluation : le grade, l'ancienneté et la participation.

Grade du participant	Valeur à attribuer
Professeur	a
Médecin - Cadre de santé	b
Infirmier	c
Aide soignante	d

Années d'ancienneté du participant	Valeur à attribuer
15 et +	a
[10 ; 15[b
[5 ; 10 [c
< 5	d

Valeur du coefficient de participation	Valeur à attribuer
[75 ; 100]	a
[50 ; 75[b
[25 ; 50 [c
[0 ; 25 [d

La colonne “Valeur à attribuer” fait volontairement apparaître des lettres plutôt que des chiffres pour qu’il n’y ait pas de confusion. En effet, il est bon de savoir que nous accordons plus de confiance à un professeur avec 15 ans d’ancienneté et ayant pris la parole très souvent durant une discussion plutôt qu’à une aide-soignante ayant acquis 2 ans d’ancienneté et étant très peu intervenue. Au final, l’ensemble de ces données est agrégé en utilisant la formule développée dans le paragraphe 5.2.4, afin d’obtenir une liste des participants classée par ordre croissant de confiance à leur accorder.

Ces éléments étant précisés, nous pouvons dès lors nous intéresser à nos différents scénarii.

7.3.3 Scénarii relatifs à la description de pathologies

Comme nous l’avons évoqué en introduction, ce paragraphe présente trois scénarii : le premier reproduit une relève de garde, le second s’attache aux causes et aux traitements des maladies des artères coronaires et le dernier soulève les causes, les facteurs de risque et les symptômes de la cardiomyopathie. Observons plus en détails les spécificités de chacun.

Scénario 1 : Simulation d’une relève de garde

Résumé du dialogue Un professeur (de 10 ans d’ancienneté), un médecin (2 ans d’ancienneté) et une infirmière (6 ans d’ancienneté) sont en pleine relève de garde et discutent de l’admission de deux de leurs patients. Le premier a été admis la veille dans le service suite à une attaque cardiaque due à de l’athérosclérose (Atteinte dégénérative de l’intima des artères, caractérisée par deux lésions macroscopiques fondamentales: la plaque d’athérome et l’épaississement fibreux). Le second, son angioplastie récente (technique de reperméabilisation des artères, qui consiste à introduire dans les artères concernées un cathéter muni d’un ballonnet qui, gonflé au niveau de la sténose artérielle, permet à l’artère de retrouver un calibre normal ou proche de la normale) l’oblige à revenir à l’hôpital régulièrement pour vérifier si une nouvelle obstruction ne se forme pas au niveau de l’artère. Comme le prévoit toute relève de garde, ces trois personnes doivent aborder les antécédents médicaux des malades et les traitements qui doivent leur être promulgués.

Caractéristiques de la simulation Ce dialogue est l'un des premiers que nous avons écrit pour tester l'efficacité de notre programme ALONE. Il possède l'avantage d'être relativement court et d'introduire peu d'individus lors de la discussion. Les phrases prononcées par chacune des personnes sont concises (en moyenne, une quinzaine de mots par réplique) et seulement quelques termes techniques médicaux apparaissent. Les données générales relatives aux patients (âge, sexe...) prédominent, par contre, largement. Nous avons tout de même introduit une réplique un peu plus longue pour le professeur afin d'analyser l'efficacité de l'analyseur textuelle.

Objectifs des résultats attendus Nous considérons, avant tout, ce dialogue comme un dialogue de test car il évalue rapidement le temps d'apprentissage d'un certain nombre de concepts (avec leur définition et leur relation). Il nous permet également de tester toute la partie de l'ontologie relative aux informations plus générales d'un patient puisque ces concepts appartiennent, pour la plupart, à l'ontologie de base de l'apprenant. Le dialogue en lui-même étant rapidement analysé par l'apprenant au niveau de l'étape 1, nous pouvons plus facilement tester l'étapes 2 de notre processus d'apprentissage. Ainsi, nous extrayons le temps relatif aux échanges de messages (nous avons préféré évaluer ce temps en secondes plutôt qu'en nombre d'échanges effectués puisque tous les échanges se font sur un nombre réduit de machines peu éloignées physiquement les unes des autres).

Résultats En ce qui concerne le dialogue entre les trois personnes, 255 mots ont été échangés (dont 114 pour le professeur, 95 pour l'infirmière et 46 pour le médecin) dont une cinquantaine de « *stop words* » et de signes de ponctuation. En prenant en considération, le grade, l'ancienneté et la participation, l'algorithme du calcul de confiance donne, sans surprise, le résultat suivant pour notre apprenant :

1. Professeur ;
2. Infirmière ;
3. Médecin.

Pour les tests sur l'ontologie, nous avons attribué à tous nos participants la même ontologie de départ correspondant à l'ensemble de l'ontologie du projet MENELAS. Par contre, nous avons effectué quatre tests au niveau de l'ontologie de base de l'apprenant : un premier où l'ontologie de départ est entièrement vide (correspondant au fait que l'agent ne possède aucune connaissance vis-à-vis du domaine simulé, même si cette situation peut paraître utopique dans la réalité...), un deuxième qui contient environ 1/3 de l'ontologie du projet (*i.e.* l'agent possède très peu de connaissances sur le domaine), un troisième avec la moitié de l'ontologie (*i.e.* l'agent possède un peu plus de connaissances sur le domaine) et enfin un dernier où l'ensemble de l'ontologie est connue par l'apprenant (*i.e.* l'agent possède toutes les connaissances nécessaires au domaine simulé mais son ancienneté est inférieure à un an). Au niveau des temps sur l'ensemble de la simulation (temps du discours + temps d'apprentissage), voici ce que nous trouvons :

	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	8,516 secondes	25,783 secondes
1/3 de l'ontologie	6,416 secondes	18,789 secondes
1/2 de l'ontologie	4,874 secondes	15,210 secondes
Ontologie entière	3,625 secondes	10, 989 secondes

Nous remarquons à travers ce tableau que l'application en distribué met un peu plus de temps qu'en local dans la mesure où il faut prendre en compte les temps de connexion au

serveur et l'activation de toutes les machines. De plus, il est assez logique de retrouver des temps moindres lorsque l'ontologie de l'apprenant est complète et qu'une grande partie de la simulation repose sur le dialogue en lui-même. Observons d'ailleurs, les données que nous trouvons au niveau de l'apprenant pour nous faire une idée du temps attribué à ses étapes d'apprentissage (analyse textuelle et demande de signification d'un concept) :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	158	5,791 secondes	17,552 secondes
1/3 de l'ontologie	96	4,652 secondes	12,778 secondes
1/2 de l'ontologie	60	3,310 secondes	10,342 secondes
Ontologie entière	0	2,465 secondes	7,402 secondes

Il est important de noter que le temps d'apprentissage décroît en fonction du nombre de concepts appris mais de façon non proportionnelle. La dernière ligne de ce tableau est également intéressante puisqu'elle montre le temps mis principalement par l'étape 1 du processus d'apprentissage (nous employons le mot « principalement » car la table des « *specific words* » de l'apprenant contient des termes qui ne sont ni des « *stop words* » ni des concepts de l'ontologie (il peut s'agir de "stop words" qui n'ont pas été répertoriés, de verbes conjugués...). Dans ce cas, une demande de définition de ces termes sera tout de même effectué par l'apprenant. Nous avons évalué ce moment à seulement 10% du temps global d'apprentissage). Bien que cette donnée nous donne un premier élément de réponse sur les performances de l'analyse textuelle, elle est à prendre avec précaution puisque le dialogue en lui-même ne comporte pas de difficultés majeures (phrases relativement courtes et grammaticalement simples).

Comme nous l'avons évoqué dans le descriptif du scénario, cette première simulation nous a permis de déceler les premières imperfections de notre approche et de voir où elle pouvait être améliorée (principalement en terme de vitesse d'exécution).

Scénario 2 : Simulation d'une discussion sur un article dont le sujet porte sur la maladie des artères coronaires

Résumé du dialogue Un cadre de santé (3 ans d'ancienneté) et deux médecins (5 et 6 ans d'ancienneté) évoquent les problèmes liés à la maladie coronarienne à la suite de la lecture d'un article sur ce sujet. Après s'être mis d'accord sur la définition de la maladie et son origine (des dépôts de gras se logent sur la paroi de l'artère provoquant son rétrécissement et la réduction de la quantité de sang arrivant au coeur), les trois personnes abordent progressivement la difficulté d'un éventuel diagnostic, les traitements qui sont actuellement donnés et les opérations chirurgicales possibles. Tous parviennent à la même conclusion : cette maladie est la manifestation la plus courante des maladies cardiovasculaires mais elle est progressive et représente plus de la moitié des cas d'insuffisance cardiaque chez les patients âgés.

Caractéristiques de la simulation Ce dialogue présente deux avantages : d'une part, il met en scène trois personnages ayant pratiquement le même statut (ce qui, au niveau de la participation à calculer, ne sera pas un critère pré-dominant) et d'autre part, le temps de parole alloué à chacun (dans le sens du nombre de phrases prononcées) est pratiquement identique. Ainsi, le calcul de la confiance à accorder à chaque agent n'est pas l'élément clé du processus d'apprentissage de l'apprenant. Par contre, les phrases prononcées par chacun des participants sont relativement longues avec de la ponctuation

et des « *stop words* ». De plus, nous avons fait en sorte que les termes employés soient assez généraux de telle façon à ne pas apparaître dans notre ontologie et réduire ainsi le temps de l'étape 2 d'apprentissage.

Objectifs des résultats attendus Dans cette simulation, nous regardons principalement l'efficacité de l'étape 1 du processus d'apprentissage et le temps consacré à l'analyse linguistique par elle-même. Nous dégageons aussi le temps attribué au dialogue et aux échanges entre agents en particulier lorsque l'exemple est réalisé en distribué.

Résultats Il s'agit d'un dialogue un peu plus long que le précédent puisqu'au total, au niveau de la discussion, 523 mots ont été prononcés par les participants (dont 124 pour le cadre de santé, 257 pour le premier médecin et 142 pour le deuxième). L'ontologie de départ attribuée à notre agent apprenant est complète de sorte que les temps trouvés reposent plus sur l'analyse textuelle que sur la demande de précision d'un concept. Voici un résumé des données chronométrées que nous obtenons :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	6,501 secondes	20,381 secondes
Temps du dialogue	2,535 secondes	10,388 secondes
Temps Étape 1	2,842 secondes	9,652 secondes
Temps Étape 2	1,124 seconde	1,341 seconde

En ce qui concerne les temps relatifs au distribué, le lecteur pourra remarquer qu'ils sont beaucoup plus importants que ceux du premier dialogue. Ceci est dû, d'une part, à la simulation plus longue et d'autre part, à des contraintes techniques. Nous allons donc plutôt nous concentrer sur les résultats trouvés pour le local.

La simulation, dans sa globalité, a duré environ 16 secondes dont 39% de ce temps réservé à l'envoi des messages entre participants (ce qui paraît assez raisonnable compte-tenu que la simulation inclut environ une cinquantaine de phrases). Au niveau de l'apprenant, 8 secondes ont été mises pour réaliser l'analyse textuelle et le calcul de confiance (sachant que ce calcul s'est fait en moins de 0,5 seconde). Dans ce dialogue, environ 200 « *stop words* » et signes de ponctuations ont été trouvés et supprimés. Une phrase, en elle même, est traitée en 0,16 seconde environ avant que les mots restants ne soient stockés dans la table des « *specific words* ».

En conclusion, nous pouvons dire que cette deuxième simulation, assez longue au niveau du dialogue, nous a permis de tester notre analyse textuelle. Nous nous sommes rendus compte que certaines données (comme les nombres composés de deux chiffres et plus) n'étaient pas traitées comme « *stop words* » et se retrouvaient dans la table des « *specific words* » alors qu'elles ne sont pas utiles. Cependant, hormis ce détail, l'ensemble des phases de l'analyse textuelle s'est déroulé avec succès et a permis à l'apprenant de se rendre compte rapidement que son ontologie était complète et qu'il était capable de participer aisément à la conversation.

Scénario 3 : Simulation d'une discussion sur la cardiomyopathie

Résumé du dialogue Une cadre de santé (2 ans d'ancienneté), un médecin (20 ans d'ancienneté), une aide-soignante (25 ans d'ancienneté) débattent sur les cardiomyopathies (maladie du myocarde associée à un dysfonctionnement cardiaque) dont le sujet est initié par une infirmière (10 ans d'ancienneté). Ils abordent progressivement les trois

types de cardiomyopathies existants : les cardiomyopathies dilatées, qui peuvent être secondaires à diverses affections cardiaques ou dues, entre autre à l'alcool ou à des agents toxiques; les cardiomyopathies hypertrophiques qui entraînent une obstruction à l'éjection ventriculaire avec gradient de pression entre la cavité ventriculaire gauche et l'aorte et les cardiomyopathies restrictives et infiltratives où une altération de la fonction diastolique est observée. Les facteurs de risque et les symptômes liés à chacune des cardiomyopathies sont également mis en avant.

Caractéristiques de la simulation Ce dialogue fait apparaître un intervenant supplémentaire par rapport aux deux simulations précédentes. Les phrases prononcées par les différents agents sont plus ou moins longues en fonction des connaissances de chacun sur le sujet. Le vocabulaire est très spécialisé (nom de médicaments, description précise des problèmes engendrés par les maladies...) et se trouve, en grande partie, dans notre ontologie. Les intervenants ont des grades et des expériences hétérogènes visant à introduire des résultats diversifiés au niveau du calcul de confiance.

Objectifs des résultats attendus Notre objectif est ici de tester la rapidité du processus d'apprentissage au niveau de l'étape 2 en fonction de l'ontologie de départ de l'apprenant. Nous mettons également en avant le calcul de confiance pour l'apprenant puisque tous les éléments entrants en considération dans son élaboration sont importants et distincts en fonction des individus.

Résultats Au niveau du dialogue, 493 mots ont été échangés (dont 183 pour l'infirmière, 118 pour la cadre, 128 pour le médecin et 68 pour l'aide-soignante) dont environ 200 « stop words » et signes de ponctuation. Compte-tenu du fait que nous sommes en présence du même type de dialogue (en terme grammatical seulement) que précédemment, nous pouvons réaliser le même type de calcul (avec comme hypothèse que l'ontologie initiale de l'apprenant est complète) :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	6,230 secondes	16,022 secondes
Temps du dialogue	2,3 secondes	6,410 secondes
Temps de l'étape 1	2,655 secondes	4,785 secondes
Temps de l'étape 2	1,275 seconde	1,625 seconde

Il est important de remarquer que nous retrouvons pratiquement les mêmes temps que précédemment avec, bien entendu, des temps plus raisonnables pour le distribué. Ceci permet ainsi de montrer une certaine stabilité au niveau de notre programme tant au niveau de l'échange des messages entre agents qu'au niveau de l'étape 1 du processus d'apprentissage de l'apprenant.

Au niveau du calcul de confiance, après avoir pris en considération, le grade, l'ancienneté et la fréquence de participation, nous obtenons le classement suivant :

1. Médecin ;
2. Infirmière ;
3. Aide-soignante ;
4. Cadre de santé.

Il est intéressant de noter qu'avec la méthode d'agrégation d'opinions et selon les critères que nous avons mis en place, le résultat trouvé n'est pas forcément celui auquel nous

pourrions nous attendre (le fait d'accorder plus de crédibilité à une aide-soignante qu'à un cadre de santé peut paraître difficile à accepter compte-tenu de leur place hiérarchique). Il semble donc que notre critère de choix au niveau de la détermination de la confiance prenne de la crédibilité.

Pour ce qui est de l'ontologie, nous avons attribué à tous nos participants plus ou moins la même, mais simplifiée par rapport à l'ontologie du départ (nous avons retiré une partie des concepts génériques (date de naissance, sexe de la personne, certaines unités de temps...), ce qui nous laisse une ontologie d'environ 1300 concepts). L'apprenant possède la même ontologie que certains participants (elle est cependant coupée à certains endroits choisis de telle façon à ce que son volume varie).

Nous nous retrouvons alors avec les temps suivants au niveau de l'apprentissage (étape 1 et 2 confondues) :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	120	9,45 secondes	11, 609 secondes
1/3 de l'ontologie	75	6,745 secondes	9,698 secondes
1/2 de l'ontologie	58	5,214 secondes	7,248 secondes
Ontologie entière	0	3,93 secondes	6,41 secondes

Si nous comparons ces résultats avec ceux de la première simulation, nous remarquons que les données trouvées sont plus importantes (par exemple, lorsque l'ontologie est complète, l'algorithme d'apprentissage dure 2,465 secondes pour le premier dialogue au lieu de 3,849 pour celui-ci). Ceci est principalement dû au fait que l'analyse textuelle de l'écoute passive est plus longue à cause de la complexité du dialogue. Il est encore à noter que le temps d'apprentissage ne suit pas une corrélation linéaire avec le nombre de concepts appris et il semblerait qu'il y ait une stagnation à ce niveau au bout d'un certain temps. Nous essayerons de confirmer cette hypothèse avec les dialogues suivants.

Nous venons de décrire les trois premiers types de dialogues que nous avons créés ainsi que les objectifs que nous cherchons à mettre en avant et les résultats que nous avons trouvés. Nous sommes déjà parvenus à dégager certaines caractéristiques au niveau de l'algorithme d'apprentissage que nous allons nous efforcer de confirmer durant la suite de ces expérimentations. Nous allons maintenant nous intéresser aux trois simulations suivantes relatives à la chirurgie cardiaque et aux techniques de cathétérisme.

7.3.4 Scénarii relatifs à des méthodes de chirurgie cardiaque et de cathétérisme

Dans cette partie, nous proposons trois scénarii : le premier concerne le fonctionnement et les effets secondaires d'une anesthésie, le second porte sur la dernière génération de méthode de chirurgie cardiaque et le troisième sur le cathétérisme cardiaque. Examinons-les plus en détails.

Scénario 4 : Simulation d'une discussion sur le déroulement d'une anesthésie

Résumé du dialogue En lisant le dossier médical d'un patient, une infirmière (2 ans d'ancienneté) découvre que celui-ci doit être opéré le lendemain d'une sténose carotidienne. Profitant de la présence de deux médecins anesthésistes (10 ans et 8 ans d'ancienneté), elle leur demande de plus amples renseignements sur ce procédé afin de mieux préparer son patient. Après lui avoir expliqué de manière générale ce qu'est une anesthésie

et les produits qui sont utilisés, les deux médecins s'attardent sur les complications et le dosage à respecter. Ils préconisent également de faire un bilan des antécédents médicaux du patient pour éviter tous risques le jour venu. Ils terminent sur les effets indésirables et les interactions possibles entre les médicaments pris par le patient et l'anesthésie en elle-même, et concluent sur le fait qu'une anesthésie n'est pas sans risque et qu'une préparation préalable est indispensable au bon déroulement de celle-ci.

Caractéristiques de la simulation Comme nous pouvons le voir à travers ce résumé, cette simulation est particulière puisque nous sommes en présence de trois personnes dont deux seulement ont des connaissances sur le sujet. La troisième a pour objectif de se renseigner et peut ainsi être assimilée à un participant venant juste de terminer son processus d'apprentissage. Par conséquent, son ontologie est très incomplète et il lui est difficile de répondre précisément aux questions de l'apprenant sur la signification d'un concept. D'autre part, nous avons fait cette simulation plus longue que les précédentes : elle contient non seulement des termes plus techniques et spécifiques à l'anesthésie mais également des termes plus généraux, de sorte que le dialogue en lui-même prenne un certain temps.

Objectifs des résultats attendus Nous souhaitons tester deux choses dans cette simulation : premièrement, le fait qu'un des participants, compte tenu de son ontologie succincte, ne soit pas en mesure de répondre correctement aux questions de l'apprenant et deuxièmement, que l'écoute passive de l'apprenant dure plus longtemps vu la longueur du dialogue. Une question se pose alors : l'apprentissage de nouveaux concepts va-t-il être plus rapide que l'analyse textuelle du discours ?

Résultats Au niveau du dialogue, 741 mots ont été échangés entre les trois participants (44 mots pour l'infirmière, 397 pour le premier médecin et 300 pour le second). Dans un premier temps, afin de tester les performances de l'analyse textuelle de l'apprenant, nous l'avons doté, ainsi que les trois autres participants, de l'ontologie entière du projet MENELAS. Nous obtenons alors les résultats suivants :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	14,214 secondes	28,821 secondes
Temps du dialogue	6,394 secondes	12,970 secondes
Temps de l'étape 1	6,416 secondes	13,453 secondes
Temps de l'étape 2	1,404 seconde	2,384 secondes

Ces premiers résultats sont assez intéressants puisqu'ils montrent qu'en local, le temps accordé pour l'échange de messages entre participants et le temps de l'analyse textuelle de l'apprenant sont quasiment identiques. Par contre au niveau distribué, l'analyse textuelle domine légèrement. Partant de là, nous pouvons nous poser la question de savoir si, sur des textes beaucoup plus importants, notre analyse est efficace et si l'une de ces phases n'est pas trop longue par rapport aux autres (la phase de découpage, de nettoyage ou de traitement ?). Pour répondre à cette question, nous avons regardé sur certaines phrases les temps mis par chacune des phases et avons remarqué, assez aisément, que la comparaison entre notre table de « *stop words* » et les divers termes de nos phrases prenait le plus de temps. Même si ce résultat paraît assez logique, nous avons réfléchi à quelques techniques permettant d'augmenter la vitesse de recherche dans la table des « *stop words* » et avons amélioré notre algorithme de quelques centièmes de secondes en classant d'une certaine

façon les « *stop words* ».

Pour ce qui est des temps du distribué (qui sont approximativement le double des temps trouvés en local), nous pensons que la gestion des clients par Java Rmi ralentit quelques peu notre processus en interrogeant le serveur à chaque envoi de messages...

Au niveau de l'ontologie de l'apprenant, nous avons fait deux tests relatifs à sa conception. Nous sommes partis, dans un premier temps du fait, que toutes les ontologies des participants étaient identiques et avons réalisé les mêmes tests que les dialogues précédents :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	160	12,902 secondes	25,417 secondes
1/3 de l'ontologie	82	9,687 secondes	19,462 secondes
1/2 de l'ontologie	65	8,981 secondes	17,047 secondes
Ontologie entière	0	7,82 secondes	15,837 secondes

Nous remarquons, là encore que les deux étapes d'apprentissage de l'apprenant augmentent au fur et à mesure que le nombre de concepts à apprendre croît mais de façon non exponentielle. Il est important de noter aussi que, comme l'analyse textuelle est longue à s'effectuer sur ce texte, les temps d'apprentissage sont assez élevés comparativement aux autres simulations.

Deuxièmement, nous avons attribué des ontologies différentes à nos participants (celles des médecins étaient entières mais celle de l'infirmière ne contenait que 500 concepts dont certains ne faisaient pas référence aux bons noeuds pères de l'ontologie) et avons doté notre apprenant d'aucune ontologie de base. Pour vérifier la bonne adéquation de l'ontologie de l'apprenant avec celle du reste des participants, nous avons comparé terme à terme cette dernière avec celle du conseiller (ou plus spécifiquement nous avons comparé les termes de nos phrases avec les noms des concepts de l'ontologie) et l'avons obligé à réapprendre tous les concepts mal appris la première fois (c'est à dire le nom du concept, sa définition mais également sa relation). Compte-tenu du dialogue et du peu de mots prononcés par l'infirmière, l'apprenant lui a seulement demandé la signification du concept "*physician*" qui fait partie, normalement, dans l'ontologie MENELAS de "*personal_hospital_role*" (au niveau de l'ontologie de l'infirmière, nous avons raccordé ce concept à "*cultural_role_function*"). Au moment de la vérification de l'ontologie de l'apprenant, le conseiller l'a obligé à réapprendre la signification de ce concept, en demandant cette information à un autre participant ayant lui aussi utilisé ce concept (nous avons, pour cela, introduit, dans notre algorithme, une étape qui supprime l'agent qui a donné une mauvaise réponse à l'apprenant). A l'issue de cette étape supplémentaire, l'apprentissage a duré environ 18 secondes soit beaucoup plus de temps que le dialogue en lui-même. Cette dernière expérimentation confirme que le temps d'apprentissage de l'apprenant est très fortement corrélée aux interactions qu'il peut avoir avec les participants.

Scénario 5 : Simulation de la présentation dans un service d'une nouvelle méthode utilisée en chirurgie cardiaque

Résumé du dialogue Cette simulation met en scène quatre personnes expérimentées (*i.e.* qui ont une certaine expérience de la chirurgie cardiaque puisqu'elles ont opéré ou assisté des opérations un certain nombre de fois) d'un service de chirurgie : un professeur (10 ans d'ancienneté), deux médecins (10 et 15 ans d'ancienneté) et un infirmier (20 ans d'ancienneté). L'objectif de cette réunion est la présentation d'une nouvelle technique d'intervention invasive en chirurgie cardiaque (avec une petite incision) pour des patients

atteints d'anomalies valvulaires ou congénitales cardiaques, ou ayant une maladie coronarienne. Après avoir présenté l'origine de cette technique et son objectif, les quatre acteurs s'attachent à la comparer aux techniques existantes et à en dégager les avantages. Leurs propos sont, par conséquent, assez spécialisés puisqu'ils décrivent le déroulement de procédures (comme l'insertion d'un cathéter dans une artère fémorale).

Caractéristiques de la simulation A travers cette simulation, nous pouvons dégager deux sortes de caractéristiques : premièrement, le vocabulaire employé est spécialisé non seulement au niveau des techniques utilisées (utilisation de termes tels qu'échocardiographie, rayons X...) mais également par rapport au corps humain (apparition de mots comme artère fémorale, vaisseaux sanguins...). Deuxièmement, l'ensemble du discours est relativement long avec des répliques plus ou moins importantes selon les individus. Il est à noter aussi l'utilisation de nombreux mots apportant peu d'informations dans l'exposé (mots de liaison, déterminants, pronoms personnels...).

Objectifs des résultats attendus Comme nous l'avons souligné dans le paragraphe précédent, cette discussion met en avant une nouvelle méthode de chirurgie cardiaque. Elle est, par conséquent, réservée à des personnes spécialisées. De ce fait, notre principale motivation est ici de tester la précision de l'apprentissage avec une ontologie de base, pour l'apprenant, plus ou moins détaillée. Nous incluons également des ontologies plus ou moins importantes et précises au niveau de nos participants afin de pouvoir les comparer à l'ontologie finale du participant et de voir si l'apprentissage s'effectue correctement. D'autre part, nous pouvons aussi analyser la pertinence de nos « *stop words* » contenus dans notre base de données et voir ainsi la rapidité des étapes de l'analyse textuelle (découpage, nettoyage et traitement).

Résultats En ce qui concerne le dialogue, 613 mots ont été échangés entre les participants (dont 194 pour le professeur, 68 pour l'infirmier, 203 pour le premier médecin et 148 pour le deuxième).

Pour tester la pertinence de l'analyse textuelle de l'apprenant, nous lui avons attribué, ainsi qu'à tous les participants, la même ontologie de départ correspondant à l'ontologie du projet MENELAS. Les résultats détaillés que nous trouvons sont les suivants :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	11,047 secondes	22,214 secondes
Temps du dialogue	4,529 secondes	9,928 secondes
Temps pour le découpage	1,897 secondes	2,785 secondes
Temps pour le nettoyage	2,234 secondes	4,458 secondes
Temps pour le traitement	1,085 seconde	2,845 secondes
Temps de l'étape 2	1,302 seconde	2,198 secondes

Dans ce tableau, nous avons fait en sorte de séparer chacune des phases de l'étape 1 du processus d'apprentissage de l'apprenant afin de tester leur rapidité. Sans surprise, nous constatons que la phase de nettoyage est la plus longue, en particulier lorsque le discours est simulé en distribué. Il est à noter aussi que ce dialogue comporte environ 300 « *stop words* » et qu'en conséquence les temps trouvés nous semblent raisonnables. En ce qui concerne la pertinence de nos « *stop words* », dans l'ensemble, peu de mots apportant peu de signification sur le texte se retrouvent dans la table des « *specific words* ». Nous avons tout de même pu rajouter quelques « *stop words* » supplémentaires tels que « *new* »,

« *small* »...

A propos des tests relatifs à l'ontologie, nous avons, dans un premier temps attribué la même ontologie à tous les participants afin de pouvoir comparer les temps trouvés avec ceux des dialogues précédents. Nous obtenons les valeurs suivantes :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	140	10,302 secondes	19,713 secondes
1/3 de l'ontologie	65	8,952 secondes	16,078 secondes
1/2 de l'ontologie	48	7,214 secondes	13,521 secondes
Ontologie entière	0	6,518 secondes	11,725 secondes

Nous remarquons que les temps d'apprentissage augmentent régulièrement bien que le nombre total de concepts appris ne soit pas très élevé (la discussion étant basée sur des noms de techniques, nous arrivons à retrouver peu de concepts appartenant à l'ontologie). Compte-tenu de ces informations, nous avons décidé d'attribuer à nos participants des ontologies différentes (avec des erreurs et des concepts mal reliés entre eux) pour chacun d'entre eux et de voir comment se déroule l'apprentissage de l'apprenant en particulier lorsqu'il possède déjà la moitié d'une ontologie. Nous nous sommes très rapidement rendus compte des limites de notre modèle en particulier dû au fait que lorsque les termes contenus dans la table des « *specific words* » de notre apprenant ne correspondent pas exactement aux « *labels* » de concepts (i.e. les noms de ces concepts) de l'ontologie, l'apprentissage de nouvelles connaissances est alors très fortement restreint pour notre nouvel agent.

Scénario 6 : Simulation d'un groupe de travail sur le cathétérisme cardiaque

Résumé du dialogue Cette conversation simule la réunion d'un groupe de travail dans un hôpital dont l'ordre du jour est : comparaison des techniques et méthodes de travail de chacun concernant le cathétérisme cardiaque (qui est l'introduction d'un cathéter, d'une sonde, dans les diverses cavités cardiaques accessibles. Il sert, principalement, à détecter et traiter les anomalies du coeur.). Sont présentes six personnes, originaires de régions différentes, spécialistes du cathétérisme : un professeur (10 ans d'ancienneté), un professeur (1 an d'ancienneté), un cadre de santé (11 ans d'ancienneté), un médecin (15 ans d'ancienneté), un médecin (8 ans d'ancienneté) et un infirmier (20 ans d'ancienneté). Après s'être mis d'accord sur la définition utilisée pour le terme « cathétérisme » et sur les raisons qui motivent son introduction, tous les six exposent leur manière de poser un cathéter et la préparation qu'ils demandent à leurs patients de respecter. Ils concluent sur les avantages d'un suivi médical régulier et la possibilité de trouver des résultats.

Caractéristiques de la simulation Compte-tenu du fait qu'il s'agit d'une réunion de groupe de travail, ce scénario est non seulement le plus long de tous nos scénarii mais également celui faisant intervenir le plus de participants. Il utilise beaucoup de vocabulaire et le temps de parole alloué à chacun est plus ou moins important en fonction des thèmes abordés. Il est également très facile d'introduire plus de participants dans cette conversation et d'apporter ainsi des avis différents.

Objectifs des résultats attendus Notre principal objectif, à travers cette simulation est de tester les limites de notre programme en ce qui concerne le nombre de participants présents et de pouvoir apporter des éléments de solution aux questions suivantes : Combien

de temps dure le discours en lui-même? Combien de temps dure chacune des étapes de l'apprenant? Le calcul de confiance est-il efficace? La reconstruction de l'ontologie de l'apprenant est-elle longue? Allons-nous arriver à une saturation du système au niveau des envois de messages? Le distribué apporte-t-il une solution efficace (en terme de temps) lorsqu'un nombre important d'agents discutent?

Résultats Comme nous l'avons dit précédemment, il s'agit du dialogue le plus difficile à analyser pour l'apprenant puisque les phrases émises par les participants sont assez longues et grammaticalement complexes. Cette simulation comprend, au niveau du dialogue, 966 mots (dont 142 pour le premier professeur, 166 pour le deuxième, 287 pour le cadre de santé, 140 pour le premier médecin, 185 pour le deuxième et 46 pour l'infirmier) dont environ 300 « *stop words* ». Nous attribuons, à tous les participants et à l'apprenant la même ontologie de départ de telle façon à analyser les temps du dialogue et de l'analyse linguistique de l'apprenant. Nous obtenons les performances suivantes :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	20,158 secondes	30,047 secondes
Temps du dialogue	8,869 secondes	13,221 secondes
Temps de l'étape 1	7,337 secondes	10,814 secondes
Temps de l'étape 2	3,952 secondes	6,012 secondes

Naturellement, nous observons des temps plus importants que pour les scénarii précédents avec malgré tout une assez bonne vitesse d'exécution pour le dialogue en lui-même. Dans le but de tester l'évolution du temps d'exécution de la simulation en fonction du nombre de participants présents, nous avons introduit dans le dialogue jusqu'à 40 participants et avons représenté graphiquement (figure 7.1) l'évolution des temps trouvés pour la simulation dans sa globalité aussi bien en local qu'en distribué.

Deux choses sont intéressantes à remarquer sur ce graphique : premièrement, comme nous nous en doutions, le temps d'exécution des simulations n'est pas proportionnel au nombre d'agents présents même si nous observons, de temps en temps, des variations plus importantes. Deuxièmement, une nette distinction entre le local et le distribué apparaît : l'écart entre ces deux façons de lancer le programme semble s'accroître avec le nombre d'agents présents. Nous pensons que cette accélération plus rapide au niveau du distribué est principalement due au fonctionnement de Java Rmi. En effet, il est très souvent reproché la lourdeur de cette application lors d'un déploiement à grande échelle, à cause de l'exécution interprétée du langage. L'utilisation de protocoles plus légers avec une utilisation directe de sockets et alors préconisée. Cette remarque s'observe sur notre graphique et biaise, de ce fait, les temps que nous pouvons trouver. Pour améliorer cela, une redéfinition au niveau de DARX serait souhaitable...

Au niveau de la confiance, nous remarquons que quel que soit le nombre de participants présents dans l'environnement, ce calcul est toujours aussi efficace et rapide. Nous pouvons ainsi en conclure que l'algorithme supporte très bien des temps de calcul plus longs. Au niveau de nos six participants de départ, nous avons trouvé les résultats suivants :

1. Cadre de santé
2. Premier professeur
3. Deuxième médecin
4. Deuxième professeur
5. Premier médecin

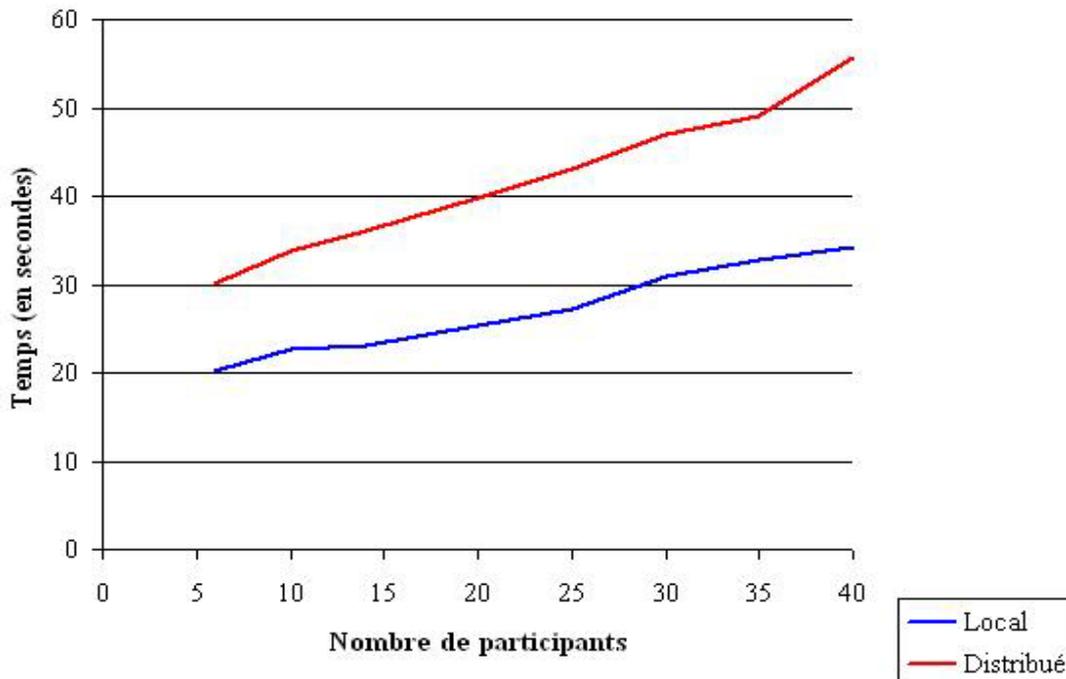


FIG. 7.1 – Evolution du temps de la simulation en fonction du nombre de participants présents

6. Infirmier

Là encore, ces résultats prennent parfaitement en considération nos trois éléments d'évaluation.

Pour l'apprentissage de l'apprenant, nous avons effectué les mêmes tests que pour les autres dialogues en considérant que tous les participants ont pratiquement la même ontologie mais que celle de base de l'apprenant est plus ou moins importante. Nous obtenons les données suivantes :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	215	16,087 secondes	23,169 secondes
1/3 de l'ontologie	166	14,895 secondes	21,478 secondes
1/2 de l'ontologie	88	13,004 secondes	18,974 secondes
Ontologie entière	0	11,289 secondes	16,826 secondes

Nous constatons que le nombre de concepts appris par l'apprenant lorsque son ontologie est vide est relativement important et que, comparativement, son temps d'apprentissage est moins élevé que ce que nous pourrions imaginer. Nous avons regardé les temps mis par chacune des étapes et avons vu, qu'en moyenne, l'étape 1 prend environ 60% du temps global d'apprentissage (dont 70% pour la phase de nettoyage). La reconstruction de l'ontologie se fait donc assez rapidement et l'envoi de messages successifs aux participants pour la définition d'un concept ne ralentit pas l'algorithme d'apprentissage (nous donnons, d'ailleurs en annexe D, un petit exemple du type d'échanges que l'on peut trouver entre l'apprenant et un participant). Ceci est principalement dû au fait que nous envoyons ces messages à une seule personne (celle ayant le degré de confiance le plus élevé) au lieu d'interroger tous les agents ayant prononcé ce terme. Nous pensons donc, que d'un point

de vue stratégique, l'imposition de cette règle est judicieuse même si elle peut s'avérer contraignante pour certains...

Nous venons de décrire trois autres scénarii et avons vu qu'ils présentaient des caractéristiques distinctes des précédents, nous permettant de tester d'autres aspects de notre programme. Pour finir, nous allons nous attacher à la dernière série de scénarii relative aux facteurs de risque des maladies cardio-vasculaires.

7.3.5 Scénarii relatifs aux facteurs de risque des maladies cardio-vasculaires

Nous avons écrit deux scénarii relatifs à cette problématique : le premier concerne l'asthme, qui touche environ 17 millions de personnes aux États-Unis et le second traite de l'obésité, qui affecte 1,1 billion d'individus à travers le monde. Analysons plus en détails leurs spécificités.

Scénario 7 : Simulation d'une discussion sur l'asthme

Résumé du dialogue A la suite de la lecture d'un article dans un journal local, deux aides soignantes (3 ans et 8 ans d'ancienneté) et une infirmière (10 ans d'ancienneté) discutent des causes et des facteurs de risque de l'asthme. Elle évoquent tous les stimulus favorisant cette maladie ainsi que les difficultés à la traiter et à la détecter facilement. Elles concluent sur les traitements efficaces qui existent pour lutter contre ce symptôme mais surtout sur le mode à vie à acquérir lorsque l'on vit avec ce type de problème (nettoyer régulièrement l'habitation, supprimer l'humidité dans la maison, laver la literie toutes les semaines à l'eau chaude...).

Caractéristiques de la simulation Cette simulation possède l'avantage d'être relativement courte avec peu de participants. Les termes utilisés sont plutôt d'ordre général sans être spécialisés et apparaissent, par conséquent, peu dans notre ontologie. Chaque intervenant donne son avis de façon détaillée. La ponctuation est assez diversifiée.

Objectifs des résultats attendus Le principal objectif est de tester la rapidité de la construction d'une ontologie pour l'apprenant. L'analyse textuelle doit donc prédominer dans cette situation. Compte-tenu de ces caractéristiques, nous avons pu tester la synchronisation avec le dialogue suivant qui a été exécuté dès la fin de la première conversation. Nous verrons cette partie de l'évaluation au niveau des résultats du deuxième dialogue.

Résultats Au niveau du dialogue, 260 mots sont prononcés (dont 333 pour l'infirmière, 99 pour la première aide soignante et 128 pour la seconde), ce qui comparativement aux dialogues que nous venons de voir, représente une « petite » simulation. En attribuant, une ontologie de départ plus ou moins identique aux participants et à l'apprenant, nous obtenons les résultats suivants :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	3,891 secondes	7,847 secondes
Temps du dialogue	1,517 seconde	3,06 secondes
Temps de l'étape 1	1,349 secondes	2,964 secondes
Temps de l'étape 2	1,025 seconde	1,823 seconde

Nous remarquons, qu'au vu de ses spécificités, la simulation se déroule assez rapidement et l'analyse textuelle dure peu de temps.

En ce qui concerne les étapes d'apprentissage à proprement parler, nous avons fait deux tests : un premier où l'apprenant ne possède aucun concept dans son ontologie de départ et un deuxième où il les détient tous. Étant donné le nombre moins important de concepts à apprendre (par rapport à d'autres dialogues), nous n'avons pas mesuré les temps d'exécution lorsque l'apprenant dispose d'1/3 ou de la moitié de l'ontologie de base. Nous n'avons pas non plus cherché à attribuer des ontologies totalement différentes à nos participants puisque notre seul objectif est ici de tester l'enchaînement des deux dialogues. Voici les résultats que nous obtenons :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	118	4,564 secondes	7,098 secondes
Ontologie entière	0	2,374 secondes	4,787 secondes

Les phases d'apprentissage s'enchaînent très rapidement (70% de ce temps pour l'étape 1) et la construction d'une ontologie pour l'apprenant se fait en quelques secondes. Pas de difficultés majeures sont à noter pour ce dialogue.

Regardons maintenant, si avec le dialogue suivant, ces temps demeurent aussi compétitifs.

Scénario 8 : Simulation d'une discussion sur l'obésité

Résumé du dialogue Cette discussion faisant suite à la simulation précédente, nous retrouvons exactement les mêmes individus avec, cependant, l'arrivée d'une nouvelle infirmière (5 ans d'ancienneté). Le débat est, cette fois-ci, soulevé à la suite de la lecture d'un article publié dans le JAMA (Journal of the American Medical Association) qui fait état de 64% des américains en sur-poids et 30% d'obèses. Les infirmières et aides soignantes donnent leurs avis sur les facteurs de risque liés à ce problème de santé publique et les symptômes qu'il est important de surveiller chez les enfants. Elles s'accordent toutes à dire qu'aucun traitement médical efficace existe vraiment mais qu'il faut surtout changer le comportement alimentaire de chacun. L'information des patients est primordiale et favoriser les activités physiques aux activités sédentaires est recommandé pour observer un début d'amélioration et de prise de conscience de ce problème.

Caractéristiques de la simulation Comme précédemment, la simulation est relativement courte et introduit plus de concepts généraux (alimentation, exercices physiques...) que de vocabulaire pointu et spécialisé. Les phrases émises par les différents participants sont tout de même assez longues et complexes (entrecoupées de virgules, d'éléments entre parenthèses...).

Objectifs des résultats attendus Là encore, nous regardons essentiellement la vitesse de construction de l'ontologie de l'apprenant avec, toutefois, un temps d'analyse linguistique plus long du fait de la complexité des phrases prononcées. Nous essayons aussi de dégager l'impact de l'apprenant sur le discours des participants. Nous examinons, enfin, l'enchaînement des étapes d'apprentissage de la seconde simulation.

Résultats Dans un premier temps, nous effectuons les mêmes prises de performance que précédemment de telle façon à comparer les similitudes de ces dialogues. 646 mots ont été prononcé durant cette simulation sur l'obésité (dont 129 pour la première infirmière,

115 pour la première aide soignante, 181 pour la deuxième aide soignante et 221 pour la deuxième infirmière) dont plus de 300 « *stop words* ». Avec la même ontologie complète pour les participants et l'apprenant, les durées trouvées sont les suivantes :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	11,410 secondes	23,034 secondes
Temps du dialogue	4,449 secondes	9,983 secondes
Temps de l'étape 1	5,411 secondes	10,509 secondes
Temps de l'étape 2	1,55 seconde	2,542 secondes

Bien entendu, la simulation est plus longue que la précédente et l'étape 1 de l'apprenant lui demande plus de temps du fait de la complexité de certaines phrases. Le temps d'apprentissage est raisonnable et nous allons d'ailleurs le tester en supposant cette fois-ci que l'ontologie de base de l'apprenant est vide :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	118	8,987 secondes	16,078 secondes
Ontologie entière	0	6,961 secondes	13,051 secondes

Nous remarquons, avec intérêt, que le nombre de concepts appris par l'apprenant lorsque son ontologie de base est vide est exactement le même que précédemment, avec simplement un temps d'analyse textuelle plus long.

Au vu de ces informations, nous allons refaire exactement les mêmes calculs aux mêmes conditions en laissant simplement les deux dialogues s'enchaîner. Au niveau des premières données, nous obtenons les résultats suivants :

	Temps en local	Temps en distribué
Simulation entière	18,866 secondes	33,936 secondes
Temps du 1er dialogue	1,517 seconde	3,06 secondes
Temps de l'étape 1	1,349 seconde	2,964 secondes
Temps de l'étape 2	0,214 seconde	1,041 secondes
Temps du 2eme dialogue	8,825 secondes	13,821 secondes
Temps de l'étape 1	5,411 secondes	10,509 secondes
Temps de l'étape 2	1,55 seconde	2,542 secondes

Les temps du premier dialogue prenant en compte seulement les moments où les participants échangent leurs messages, nous retrouvons exactement les mêmes temps que dans la description de la simulation sur l'asthme. En ce qui concerne les temps du deuxième dialogue, nous observons qu'ils sont beaucoup plus longs que ceux trouvés au niveau du dialogue sur l'obésité: ils prennent en compte non seulement le dialogue en lui-même mais aussi les messages échangés entre le participant et l'apprenant au moment de son apprentissage de concepts issus du dialogue précédent (c'est d'ailleurs pour cette raison que les premiers temps de l'étape 2 sont aussi peu élevés). Nous pouvons donc en conclure, qu'au niveau de notre algorithme d'apprentissage, lorsque plusieurs dialogues s'enchaînent, l'apprentissage mais également les échanges se trouvent ralentis. Ceci paraît assez logique puisque dans la description théorique de notre modèle d'apprenant (voir chapitre 5), nous avons vu que les participants pouvaient être interrompus par l'apprenant pour répondre prioritairement à ses questions concernant la définition d'un concept. Quant à la partie apprentissage de l'apprenant, nous avons effectué une mesure globale sur toute la simulation par rapport aux concepts appris et nous trouvons :

	Nbre concepts appris	Temps en local	Temps en distribué
Ontologie vide	201	18,643 secondes	34,428 secondes
Ontologie entière	0	14,021 secondes	27,476 secondes

Nous remarquons ainsi que les temps trouvés sont assez importants par rapport au nombre de concepts appris (par exemple, si nous comparons avec les résultats de la simulation 6, qui était notre plus long dialogue et pour lequel l'agent apprenant avait mis environ 16 secondes pour apprendre 215 concepts, nous remarquons qu'il met ici plus de temps pour une ontologie moins complète au final). Nous pouvons en conclure que notre algorithme est particulièrement efficace pour analyser des dialogues se déroulant les uns après les autres (même lorsque 40 participants sont présents) mais le fait d'introduire une succession de conversations ralentit ses potentialités. Plusieurs paramètres peuvent entrer en ligne de compte dans ce phénomène (comme l'ouverture simultanée de plusieurs sources externes).

Nous venons de détailler les deux derniers discours créés et avons vu que notre principal objectif était ici de voir l'influence de leur enchaînement sur les étapes d'apprentissage de l'apprenant. Nous avons volontairement introduit un peu moins de vocabulaire technique (par rapport aux autres dialogues) pour ne pas mettre en avant la reconstruction de l'ontologie mais plutôt l'enchaînement des discours.

7.3.6 Conclusion

Nous avons présenté dans cette partie, les différents scénarii que nous avons mis en place pour tester l'efficacité de notre programme et valider notre modèle. Nous avons vu que les objectifs visés sont distincts, selon les conversations, de telle façon à percevoir divers paramètres de chacune des étapes d'apprentissage. Nous nous sommes rendus compte également, que les temps d'apprentissage sont différents et augmentent plus ou moins rapidement, surtout au niveau des tests en local. Nous avons d'ailleurs repris quelques résultats de scénarii sur la figure 7.2 (les temps qui apparaissent sont ceux trouvés en local) montrant bien les évolutions plus ou moins rapides selon les complexités linguistiques des dialogues.

Au niveau des résultats du distribué, nous avons constaté que les limites de Java RMI freinent les potentialités de notre algorithme. De ce fait, il est assez délicat de pouvoir tirer des conclusions précises sur cette partie de notre application, même si nous sommes parfaitement conscients de l'importance de cet élément dans notre proposition.

Cette partie de notre travail nous a donc permis de voir les avantages et les inconvénients pratiques liés à notre modélisation d'agent apprenant.

7.4 Synthèse

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté successivement les éléments pris en considération dans l'évaluation pratique de notre proposition. Nous avons tout d'abord analysé l'ontologie médicale dont nous nous sommes servis en essayant de mettre en avant son intérêt mais également sa complexité de construction (1800 termes pour 300 relations). Nous avons ensuite détaillé les scénarii que nous avons testés en exposant les spécificités de chacun et les résultats qui en découlent. Nous avons principalement effectué des mesures de performance en terme de temps (secondes) pour constater la rapidité de l'algorithme. Nous avons aussi tenté, à certains moments, de vérifier reconstruction de l'ontologie de notre apprenant (les concepts appris avec leur définition et leur relation) et nous sommes

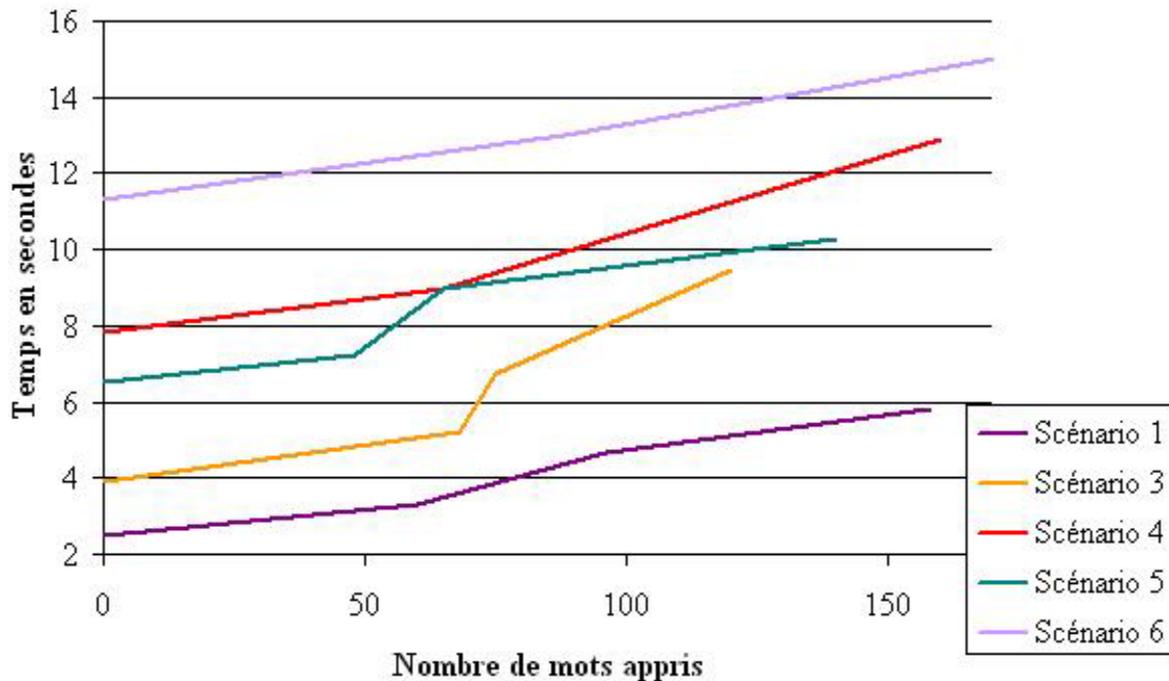


FIG. 7.2 – Evolution du temps de la simulation selon différents scénarii

rapidement rendus compte des limites de notre approche, en particulier lorsqu'un terme contenu dans notre texte n'a pas la même identification (identité exacte des chaînes de caractères le désignant) que le concept contenu dans notre ontologie. Enfin, nous avons regardé le fonctionnement du calcul de confiance et avons conclu qu'il s'agit d'un bon indicateur prenant en considération différentes données spécifiques à chaque participant (grade, ancienneté, participation).

Nous tenons à souligner que nous avons volontairement décidé, comme nous l'avons dit en introduction, d'effectuer nos simulations dans le domaine médical mais que d'autres domaines peuvent parfaitement être testés dès lors qu'ils utilisent une ontologie spécifique et complète. Nous avons d'ailleurs exécuté notre algorithme d'apprentissage sur un dialogue portant sur des variantes de jeux d'échecs et les résultats trouvés étaient en concordance avec ceux que nous avons déjà décrit (temps d'apprentissage plus long lorsque la conversation devient plus complexe, rapidité au niveau local plutôt qu'au niveau distribué...). Cette dernière partie étant abordée, nous allons maintenant conclure notre travail en essayant de dégager nos contributions et nos limites tant au niveau des systèmes multi-agents qu'au sein des sciences sociales.

Cinquième partie

Conclusion et Perspectives

Chapitre 8

Conclusion

« Le secret d'un bon discours, c'est d'avoir une bonne introduction et une bonne conclusion. Ensuite, il faut s'arranger pour que ces deux parties ne soient pas très éloignées l'une de l'autre. »

G. Burns.

8.1 Introduction

Nous nous sommes attachés, tout au long de cette thèse, à présenter notre modélisation de l'apprentissage en essayant de rester le plus fidèle possible à notre dessein : faire en sorte d'allier des travaux issus des sciences cognitives et de l'Intelligence Artificielle Distribuée afin de se rapprocher, au mieux, de la simulation d'un apprentissage humain. Par conséquent, nous avons cherché à apporter une vision plus « sociale » d'une problématique clé des SMA et à encourager la pluridisciplinarité dans ce domaine.

Pour concevoir notre modèle, nous avons étudié les différentes méthodes d'apprentissage existantes dans l'univers multi-agents et avons conclu qu'elles étaient spécifiques à une situation donnée à un moment donné. Nous avons également remarqué que ce sujet était traité en psychologie et qu'il offrait des théories proposant des principes utilisés par un agent, à savoir l'importance de la communication et des interactions lors d'un processus d'apprentissage. A partir de là, certaines remarques nous sont venues à l'esprit : Comment utiliser ces travaux de psychologie dans l'univers multi-agents ? Comment les modéliser en respectant les contraintes des SMA ? Et surtout, qu'apporterait une telle modélisation aux sciences sociales ?

8.2 Contributions et apports

Comme nous l'avons souligné en introduction, notre travail allie d'une part, les caractéristiques des systèmes multi-agents pour la prise de décision, la coopération et la communication inter agents et d'autre part, la mise en évidence du langage (et des interactions qui en découlent) lors des diverses phases de l'apprentissage humain. Or, pour réaliser et développer cette approche, il n'existe malheureusement pas de méthodologies précises et d'outils standard en IAD. Dans cette perspective, nous avons donc élaboré une forme hybride de modélisation baptisée ALONE.

8.2.1 Un modèle et un environnement d'agent apprenant

A l'instar d'une conversation humaine instaurée sur un sujet en particulier, nous avons développé **trois types d'agents** présents dans notre environnement avec des rôles, des caractéristiques et des cycles de vie qui leur sont propres :

- **Un apprenant** : Son objectif est d'acquérir de nouvelles connaissances (représentées, dans notre cas, sous la forme d'une ontologie), lui permettant d'établir un dialogue avec le reste des participants. Toutes ses communications se font par l'envoi et la réception de messages en langage naturel. Il dispose d'un certain nombre de connaissances de base qui lui sont indispensables tout au long de son apprentissage. Son module d'apprentissage constitue, bien entendu, le coeur de son fonctionnement. Son cycle de vie est initialisé par l'envoi d'un message de bienvenue de la part du conseiller et se termine une fois que son apprentissage est achevé.
- **Des participants** : Leurs principaux rôles sont d'établir un véritable dialogue avec les autres participants de l'environnement et d'aider l'apprenant dans son processus d'apprentissage. L'ensemble de leur communication se fait par l'envoi de messages rédigés en langage naturel. Ils possèdent non seulement des connaissances liées à un domaine particulier (représentées sous la forme d'une ontologie) mais aussi des connaissances de base visant à comprendre les messages échangés. Leurs décisions sont prises au niveau de leur module de Réponse/Action qui est la partie la plus développée pour ces agents. Leur cycle de vie est initialisé par l'envoi d'un message de bienvenue de la part du conseiller et se termine avec l'envoi d'un message de retrait.
- **Le conseiller** : Il a pour rôle de surveiller et réguler le système mais aussi d'apporter à l'apprenant toutes les informations relatives aux agents présents dans l'environnement via l'envoi de messages en langage naturel. Ses connaissances de base sont plus réduites que les autres mais concernent surtout des informations sur tous les agents présents. Son cycle de vie correspond avec le début et la fin de la simulation puisqu'il est le premier agent à être créé et le dernier à être supprimé.

En ce qui concerne le processus d'apprentissage, nous l'avons décomposé en **deux étapes** de telle façon à coïncider avec l'évolution et la construction d'un individu au cours de son développement :

- **Une première étape d'écoute passive** de toutes les conversations (avec une analyse textuelle sur chacun des messages envoyés entre participants et une analyse statistique sur les mots extraits pour dégager les plus importants) ainsi qu'un calcul de confiance (se basant sur une méthode d'agrégation d'opinions) pour tous les participants présents lors du dialogue simulé (de sorte à avoir un classement des participants, prenant en considération leur participation durant une conversation, leur grade et leur ancienneté). Ce calcul de confiance est plus particulièrement utilisé par l'apprenant lors de la deuxième étape de son apprentissage afin d'interroger un seul agent sur la signification d'un terme et disposer ainsi d'une réponse unique.
- **Une deuxième étape d'interrogation des participants** concernant la définition de tous les termes inconnus et la mise à jour de l'ontologie, qui devient alors en adéquation avec le domaine simulé.

Lors de ces étapes, nous mettons successivement en œuvre des techniques issues de la linguistique (pour analyser les messages), de l'éthologie des communications (pour quantifier la participation de chacun lors d'une conversation) et des mathématiques (pour accorder

plus ou moins de confiance aux propos d'un agent) visant à conjuguer les avantages et les apports de chacune de ces disciplines.

8.2.2 Une implémentation opérationnelle

L'intention finale de notre démarche était de concevoir et réaliser une implémentation de notre modèle la plus proche possible de nos contraintes théoriques. Pour cela, nous avons développé un programme se basant sur une plate forme multi-agents (DIMAX) pour ne pas redévelopper tous les protocoles d'interactions existants et nous concentrer sur les propriétés de notre modèle. Tout au long de la conception de l'application, nous avons tenté de réfléchir à son évolution et avons, dans cette perspective, mis en place un certain nombre d'outils qui peuvent être facilement améliorés par l'utilisateur. De plus, ce logiciel possède l'avantage de s'installer rapidement et nécessite très peu de contraintes techniques. Enfin, toutes les simulations peuvent être appliquées dans des contextes très divers et disposer d'un ou plusieurs apprenants ainsi qu'un certain nombre de participants. Nous avons aussi mis en avant, le fait que notre application fonctionne en distribué (sur des machines physiquement réparties). Dès lors, nous avons pu réaliser notre intention de départ : créer un environnement où des agents virtuels « discutent » et apprennent de façon autonome.

8.2.3 Une application dans le domaine de la santé

Pour valider notre modèle et pouvoir tester l'efficacité de notre programme (en terme de concepts appris dans notre cas), une dernière étape manquait à notre travail : trouver un domaine d'application pertinent où l'acquisition régulière de nouvelles connaissances a un sens. Notre choix s'est porté sur le domaine de la santé puisque c'est un domaine où les informations quotidiennes sont très nombreuses, et qu'il est essentiel pour les acteurs de ce système de se tenir au courant de toutes les évolutions et nouveautés. Nous avons donc utilisé une ontologie de plus de 1800 concepts (l'ontologie du projet MENELAS) et avons écrit un certain nombre de scénarii sur des sujets ayant trait à la chirurgie cardiovasculaire. Nous avons ainsi pu nous rendre compte de la vitesse d'apprentissage de nos agents et des différents temps attribués à chacune des étapes. Partant de là, nous avons effectué certaines modifications au niveau de notre algorithme et avons noté les faiblesses de notre modèle.

En conclusion, nous pouvons dire que cette application nous a permis de prouver le caractère générique de notre modèle d'apprentissage tant au niveau des conversations émises que des concepts appris.

8.2.4 Des apports dans les deux disciplines

Notre travail se trouvant à la charnière de deux disciplines, des apports dans chacune d'elles peuvent être énoncés :

Apports de notre modèle ALONE au niveau des sciences sociales

Dans le domaine des sciences sociales, l'originalité de notre approche réside dans :

- La modélisation de la théorie de Vygotsky mettant en avant le langage et les interactions comme source d'apprentissage ;
- L'utilisation de travaux issus de l'éthologie des communications pour le calcul de confiance ;

- L'intégration de toutes les caractéristiques des systèmes multi-agents visant à ajouter aux répertoires théoriques des sciences sociales des mécanismes nouveaux et performants apportant des éléments novateurs et constructifs (l'approche agent pour modéliser les fonctions de haut niveau de l'être humain, les protocoles d'interactions...).

Apports de notre modèle ALONE au niveau des systèmes multi-agents

Les principaux avantages de cette modélisation sont :

- L'introduction des théories « socio-constructivistes » à la base d'un modèle d'apprentissage visant à se rapprocher des particularités humaines ;
- La prise en compte du langage et des interactions en tant que source d'apprentissage et l'accord d'un poids plus important à la communication. Une véritable « intelligence verbale » peut ainsi être dégagée au même niveau que celle d'un individu ;
- Le développement d'un modèle hybride d'apprentissage combinant les spécificités théoriques des sciences sociales et de l'IAD ;
- La mise en avant de la présence de trois types d'agents dans un environnement d'apprentissage avec leurs propres caractéristiques et leurs objectifs ;
- La prise en compte d'informations professionnelles (grade et ancienneté) et relatives à la participation d'un agent lors d'une conversation pour le calcul de confiance. L'utilisation d'une méthode d'agrégation d'opinions pour agréger toutes ces informations et obtenir un classement des participants ;
- L'implémentation de notre modèle à partir d'une plate-forme multi-agents. L'installation rapide de cette application sur n'importe quel système d'exploitation et son évolution possible au niveau de la programmation. La possibilité d'utiliser ce programme de façon locale ou distribuée ;
- La validation de notre proposition dans un domaine particulier : celui du milieu de la santé en prenant en considération une ontologie construite lors d'un projet européen.

8.3 Perspectives

Nos simulations nous ont permis de nous rendre compte des limites de notre approche et des nombreuses extensions qui en découlent, non seulement au sein du modèle en lui-même mais aussi au niveau de l'implémentation.

8.3.1 Evolutions au niveau du modèle

Nous nous sommes rendus compte qu'au cours de nos différentes expérimentations le fait de considérer dans notre approche que les termes utilisés par les agents lors d'une conversation correspondent aux « labels » de concepts - i.e. les noms de ces concepts - nous permet d'apprendre les concepts que s'il y a une identification - identité exacte des chaînes de caractères les désignant - entre ces termes et ces labels. Cela réduit nos possibilités d'acquisitions de connaissances car un terme contenu dans notre texte qui ne ressemble pas exactement au « label » d'un concept de notre ontologie n'est pas reconnu.

Pour pallier ce problème, nous envisageons de travailler dans deux directions complémentaires :

- Associer à chaque concept de l'ontologie, le terme préférentiel qui en donne la trace

dans un discours. Cette information n'était pas disponible dans l'ontologie de Ménélas mais elle commence à l'être dans des travaux plus récents en médecine [BC05]. Cette dernière permet en plus de repérer les syntagmes nominaux qui sont extrêmement porteurs de sens dans les domaines spécialisés comme la médecine : par exemple, le concept de VeineCave peut être associé au terme de « veine cave », le second permettant de repérer et donc d'apprendre le premier.

- En complément, il faut évidemment mettre en œuvre une analyse morphologique des mots au sein de nos discours (ceci passant bien entendu par un traitement automatique du langage plus approfondi en prenant en considération, entre autre, la racine des mots - le lemme - mais également leurs synonymes) afin de normaliser la sémantique des termes obtenus pour pouvoir les comparer avec les termes préférentiels des concepts de nos ontologies.

En allant plus loin et en systématisant un tel travail, en particulier en représentant tout terme du domaine par un concept simple ou un concept complexe associant plusieurs autres concepts grâce à des relations - appelé *concept défini* en opposition au *concept primitif* - nous pourrions avoir un thésaurus des termes utilisés dans un domaine et ainsi une représentation conceptuelle de chacun d'eux.

Dans un premier temps, nous avons décidé de symboliser les connaissances et les compétences d'un agent sous la forme d'une ontologie. En effet, cette représentation nous paraît, d'une part, la plus proche des contraintes théoriques imposées par la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) en ce qui concerne la communication inter agents, et d'autre part, il s'agit d'une bonne conceptualisation d'un domaine auquel sont associés un ou plusieurs vocabulaire de termes défini pour un objectif donné comme c'est le cas dans notre exemple (*i.e.* apprendre des nouveaux concepts dans une spécialité médicale à un instant donné). Bien entendu, si l'on souhaite encore plus se rapprocher des caractéristiques humaines pour ce qui est de l'apprentissage, nous pouvons envisager une représentation des connaissances différentes (sous la forme d'une base de données avec des relations complexes). Cette ouverture est facilement réalisable d'un point de vue technique puisque nous avons vu que notre application possède l'avantage de prendre en compte n'importe quelle sorte de données externes dans n'importe quel type de format.

Au niveau de nos étapes d'apprentissage, nous avons effectué un calcul de confiance basé sur des travaux issus des sciences sociales, de l'éthologie des communication et d'une méthode d'agrégation d'opinions. Nous pourrions, bien entendu, prendre en compte de nombreuses autres variables dans ce calcul, telles que des variables économiques (en fonction du lieu de naissance des individus) comme le suggère Zak dans son article [ZAK03].

Dans notre modèle, nous avons mis en avant le fait que la coopération des différents participants est une clé de réussite lors de la deuxième étape de l'apprentissage de l'apprenant. Cependant, nous pourrions parfaitement imaginer le cas où certains participants refusent de coopérer ou donnent, volontairement, de mauvaises définitions d'un terme. Dans cette situation, le conseiller attribuerait des pénalités aux agents non coopérants à la manière d'un apprentissage par renforcement. En conséquence, l'agent ayant obtenu le plus de pénalités se verrait dans l'obligation de quitter l'environnement ALONE. Le seul inconvénient à ce scénario est que nous nous éloignerions des principes de l'apprentissage « socio-constructivite » qui considère que la coopération est nécessaire à l'apprentissage d'un individu (en particulier avec la notion d'échafaudage instaurée par Vygotsky).

8.3.2 Evolutions au niveau de l'implémentation

Nous nous sommes aperçus que les principales limites de notre implémentation reposent sur la lenteur du fonctionnement en distribué, principalement lorsque plusieurs agents « discutent » dans l'environnement. Pour améliorer ce point, il serait intéressant d'enrichir une partie de DARX en repensant le projet en terme de « sockets » plutôt qu'avec Java Rmi. Cette façon de concevoir le distribué est d'ailleurs actuellement de plus en plus employée avec le développement d'applications Web. Il nous semble assez facile de réaliser ce changement qui apporterait, non seulement, une amélioration au niveau d'ALONE mais également au sein de DIMAX.

Pour des questions de facilité d'utilisation, nous avons volontairement développé une petite interface de lancement avec peu de fonctionnalités et avons vu que tous nos dialogues apparaissaient dans des fenêtres MsDos. D'un point de vue graphique, il serait attrayant de programmer une interface pour chaque agent (sous forme d'agent virtuel avec des caractéristiques humaines représentées en trois dimensions) de telle façon à rendre notre application plus attractive pour l'utilisateur. Bien entendu, cela nécessiterait la coopération d'ingénieurs graphistes spécialisés pour ce type de développement puisque les possibilités de Java sont quelque peu succinctes dans ce domaine...

Sixième partie

Bibliographie

Bibliographie

- [AF73] A. ANDREEWSKY and C. FLUHR. *Apprentissage, analyse automatique du langage, application à la documentation*. Editions Dunod, Paris, France, collection documents de linguistique quantitative 21 edition, 1973.
- [AK00] E. ALONSO and D. KUDENKO. Machine learning for logic-based multi-agent systems. In *Proceedings of the First Goddard Workshop on Formal Methods for Multi-Agent Systems (FAABS'00)*. Springer Verlag, 2000.
- [ASH52] S. E. ASH. *Social Psychology*. McGrawHill, 1952.
- [AUS60] J.L. AUSTIN. *How to do things with words*. MIT Press, Cambridge, United Kigdom, 1960.
- [BAN80] A. BANDURA. *L'apprentissage social*. Mardaga, Bruxelles, Belgique, 1980.
- [BAN86] A. BANDURA. *Social foundations of thought and action*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1986.
- [BBCZ94] J. BOUAUD, B. BACHIMONT, J. CHARLET, and P. ZWEIGENBAUM. Acquisition an structuring of an ontology within conceptual graphs. In *Proceedings of ICCS'94 Workshop on Knowledge Acquisition using Conceptual Graph Theory*, 1994.
- [BBS95] A.G. BARTO, S.J. BRADTKE, and S.P. SINGH. Learning to act using real-time dynamic programming. *Artificial Intelligence*, 72:81–138, 1995.
- [BC05] A. BANEYX and J. CHARLET. Construction d'ontologies médicales à partir de textes : propositions méthodologiques. In *Actes des 16^{es} Journées Ingénierie des Connaissances*, Nice, 1-3 juin 2005. Presses universitaires de Grenoble.
- [BD01a] J.P. BRIOT and Y. DEMAZEAU. *Principes et architecture des systèmes multi-agents*, chapter Modèles et architectures d'agents, ch.2, pages 71–108. Hermès, 2001.
- [BD01b] J.P. BRIOT and Y. DEMAZEAU. *Principes et architectures des systèmes multi-agents*, chapter Introduction aux agents, pages 1–11. Hermès, Paris, France, 2001.
- [BDP98] R. BHATTACHARYA, T.M. DEVINNEY, and M.M. PILLUTLA. A formal model of trust based on outcomes. *Academy of management review*, 23(3):459–472, 1998.
- [BGA56] J. BRUNER, J. GOODNOW, and G. AUSTIN. *The study of thinking*. John Witey, 1956.
- [BID98] F. BIDAULT. Comprendre la confiance. la nécessité d'une nouvelle problématique. *Economie et société, Sciences de gestion*, (8):33–46, 1998.
- [BOU97] P. BOURDIEU. *Méditations pascaliennes*. Le Seuil, 1997.
- [BV00] H.R. BERENJI and D. VENGEROV. Learning, cooperation and coordination in multi agent systems. Technical Report Technical report IIS-00-10, IIS corporation, 2000.

- [CBJZ96] J. CHARLET, B. BACHIMONT, J. BOUAUD J, and P. ZWEIGENBAUM. *Ontologie et réutilisabilité: expérience et discussion*, chapter Acquisition et ingénierie des connaissances: tendances actuelles, pages 69–87. Cepaduès-éditions., 1996.
- [CDD02] B. CHAIB-DRAA and F. DIGNUM. Trends in agent communication language. *Computational intelligence*, 18(2):89–101, 2002.
- [CF99] C. CASTELFRANCHI and R. FALCONE. *Deception, fraud and trust in agent societies*, chapter The dynamics of trust: from beliefs to action, pages 41–53. NationalResearch Council, 1999.
- [CFF⁺92] H. CHALUPSKY, T. FININ, R. FRITZSON, D. MCKAY, S. SHAPIRO, and G. WEIDERHOLD. An overview of kqml: A knowledge query and manipulation language. Technical report, KQML Advisory Group, april 1992.
- [CHA02a] F. CHANG. Symbolically speaking: a connectionist model of sentence production. *Cognitive science*, 26:609–651, 2002.
- [CHA02b] J. CHARLET. L'ingénierie des connaissances: développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales. Master's thesis, HDR à l'Université Paris VI, 2002.
- [CHO57] N. CHOMSKY. *Syntactic structure*. Mouton, 1957.
- [CHO65] N. CHOMSKY. *Aspects of the theory of syntax*. MIT Press, Cambridge, United Kigdom, 1965.
- [CHO70] N. CHOMSKY. *Le langage et la pensée*. Payot, Paris, France, 1970.
- [CHO82] N. CHOMSKY. *Some concepts and consequences of the thory of government and binding*. MIT Press, Cambridge, United Kigdom, 1982.
- [CP02] C. CASTELFRANCHI and R. PEDONE. A review on trust in information technology. <http://alfebiite.ee.ic.ac.uk/docs/papers/D1/ab-d1-cas+ped-trust.pdf>, 2002.
- [DEM95] Y. DEMAZEAU. From interactions to collective behaviour in agent-based systems. In *Proceedings of European Conference on Cognitive Science*, 1995.
- [DEM97] Y. DEMAZEAU. Steps toward multi-agent oriented programming. In *Proceedings of the First International Workshop on Multi-Agent Systems - IWMASS97*, 1997.
- [DEN95] D. DENNETT. *La conscience expliquée*. Gallimard, 1995.
- [DEU60] M. DEUTSCH. Trust and suspicion. *Conflict resolution*, pages 256–279, 1960.
- [DOO97] P. DOOLITTLE. Vygotsky's zone of proximal development as a theoretical foundation for cooperative learning. *Journal on Excellence in College Teaching*, 8(1):83–103, 1997.
- [DUT00] A. DUTECH. Solving pomdp using selected past events. In *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI2000)*. ACM Press, 2000.
- [DWS01] S.A. DELOACH, M.F. WOOD, and C.H. SPARKMAN. Multiagent systems engineering. *The International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 11(3):231–258, 2001.
- [FER95] J. FERBER. *Les systèmes multi agents vers une intelligence collective*. InterEditions, 1995.

- [FFMM94] T. FININ, R. FRITZSON, D. MCKAY, and R. MCENTIRE. Kqml as an agent communication language. In N. Adam, B. Bhargava, and Y. Yesha, editors, *Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'94)*, pages 456–463, Gaithersburg, MD, USA, 1994. ACM Press.
- [FIPA97] Foundation for Intelligent Physical Agents. Part 2, agent communication language. Technical report, FIPA 97 Specification, 1997.
- [FON93] L.N. FONER. What's an agent anyway? - a sociological case study. FTP Report - MIT Media Lab, May 1993.
- [GAM88] D. GAMBETTA. *Trust. Making and breaking cooperative relations*. Basil Blackwell, Oxford, NY, 1988.
- [GAR85] H. GARDNER. *The Mind's New Science, a History of the Cognitive Revolution*. Basic Books, 1985.
- [GB99] Z. GUESSOUM and J.P. BRIOT. From active objects to autonomous agents. *IEEE Concurrency*, 7(3):68–76, 1999.
- [GEO03] S. GEORGE. Analyse automatique des conversations textuelles synchrones d'apprenants pour la détermination de comportements sociaux. *Revue Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation*, 10, 2003.
- [GK94] M.R. GENESERTH and S.P. KETCHPEL. Software agents. *Communications of the ACM*, 37(7):48–58, 1994.
- [GOL96] C.V. GOLDMAN. Learning in multi-agent systems. In *Proceedings of the 13th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 96)*, Cambridge, United Kingdom, 1996. MIT Press.
- [GRU93] T. GRUBER. A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 5(2):199–220, 1993.
- [GRU95] T. GRUBER. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International journal of human computer studies*, 43:907–928, 1995.
- [GT93] R. GHIGLIONE and A. TROGNON. *Où va la pragmatique? De la pragmatique à la psychologie sociale*. Presses universitaires, Grenoble, France, 1993.
- [GUE96] Z. GUESSOUM. *Un environnement opérationnel de conception et de réalisation de systèmes multi-agents*. PhD thesis, Université Paris 6, LAFORIA, 1996.
- [GUE98] Z. GUESSOUM. Dima: Une plate-forme multi-agents en smalltalk. *Revue Objet*, 3(4):393–410, 1998.
- [GUE00] Z. GUESSOUM. Dima. Technical report, Université Paris 6, 2000.
- [HEB04] J. HEBALI. La création de la confiance sur internet: une proposition de cadre conceptuel. Working paper, HEC Genève, Juin 2004.
- [HG02] W.H. HSU and S.M. GUSTAFSON. Genetic programming and multi agent layered learning by reinforcements. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2002)*, 2002.
- [HOL75] J.H. HOLLAND. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, 1975.
- [IVI94] I. IVIC. Lev s. vygotsky. *Perspectives: revue trimestrielle d'éducation comparée*, 24(3):793–820, 1994.

- [JAK63] R. JAKOBSON. *Essai de linguistique générale*. Payot, 1963.
- [JOL91] A. JOLY. *L'analyse linguistique des textes anglais*. Nathan Université, Paris, France, 1991.
- [JT99] C. JONKER and J. TREUR. *Deception, fraud and trust in agent societies*, chapter Formal analysis of models for the dynamics of trust based experiences, pages 80–94. NationalResearch Council, 1999.
- [JW98] N.R. JENNINGS and M. WOOLDRIDGE. *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*, chapter Applications of intelligent agents, pages 3–28. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1998.
- [JWS98] N.R. JENNINGS, M. WOOLDRIDGE, and K. SYCARA. A roadmap of agent research and development. *Journal of autonomous agents and multi-agent systems*, 1(1):275–306, 1998.
- [KAR96] L. KARPIK. Disposition de confiance et engagement crédible. *Sociologie du travail*, 4:527–550, 1996.
- [KK01] D. KAZAKOV and D. KUDENKO. Machine learning and inductive logic programming for multi-agent systems. *Lecture Notes in Computer Science*, 2086:246–266, 2001.
- [KOL93] J. KOLODNER. *Case based reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [KV01] S. KATARE and V. VENKATASUBRAMANIAN. An agent-based learning framework for modeling microbial growth. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(6):715–726, 2001.
- [KZ03] S. KNACK and P.J. ZACK. Building trust; public policy, interpersonal trust and economic development. *Supreme court economic review*, 10:91–107, 2003.
- [LAP97] D. LAPLANE. *Les empêcheurs de penser en rond*. Collection la pensée d'outre-mots. Synthélabo, 1997.
- [LAR00] LAROUSSE. *Le petit Larousse illustré*. Larousse, Paris, France, 2000.
- [LB95] R.J. LEWICKI and B.B. BUNKER. *Conflict, cooperation and justice*, chapter Trust in relationships: a model of trust development and decline. Jossey-Bass, 1995.
- [LEW35] K. LEWIN. *A dynamic theory of personality*. McGrawHill, 1935.
- [LEW36] K. LEWIN. *Principles of topological psychology*. McGrawHill, 1936.
- [LEW44] K. LEWIN. *Authority and frustration*. McGrawHill, 1944.
- [LEW03] R.L. LEWIS. *Encyclopedia of cognitive science*, chapter Computational Psycholinguistics. Macmillan, Londre, United Kigdom, 2003.
- [LF94] Y. LABROU and T. W. FININ. A semantics approach for kqml - a general purpose communication language for software agents. In *CIKM*, pages 447–455, 1994.
- [LF97] Y. LABROU and T. FININ. A proposal for a new kqml specification. Technical Report Technical Report CS-97-03, University of Maryland Baltimore County, Baltimore, MD 21250, 1997.
- [LFP99] Y. LABROU, T. FININ, and Y. PENG. Agent communication languages: the current landscape. *Intelligent Systems*, 14(2):45–52, 1999.
- [LIN92] L-J. LIN. Self-improving reactive agents based on reinforcement learning, planning and teaching. *Machine Learning*, 8:293–321, 1992.

- [LL98] N. LAZARIC and E. LORENZ. *Trust and Economic learning*, chapter Introduction: the learning dynamics of trust, reputation and confidence. Edward Elgar, 1998.
- [LR95] P. LIVET and B. REYNAUD. La confiance indécidable et ses versions en économie. In *Actes du séminaire interdisciplinaire: confiance, apprentissage et anticipation économique*, pages 208–222, Compiègne, 1995. Université technologique de Compiègne.
- [LS88] L. LEBART and A. SALEM. *Analyse statistique des données textuelles*. Dunod, 1988.
- [LS99] O. LASSILA and R.R. SWICK. Resource description framework (rdf) model and syntax specification. Technical report, Février 1999.
- [LUH79] N. LUHMANN. *Trust and power*. John Wiley and sons, 1979.
- [LUZ95] D. LUZZATI. *Le dialogue verbal homme-machine*. Masson, Paris, France, 1995.
- [LW78] R. LIPPITT and R. WHITE. *Psychologie sociale, textes fondamentaux anglais et américains*, chapter Une étude expérimentale du commandement de la vie de groupe. Dunod, 1978.
- [LW85] J.D. LEWIS and A. WEIGRET. Trust as a social reality. *Social forces*, 63(4):967–985, 1985.
- [MA93] A.W. MOORE and C.G. ATKESON. Prioritized sweeping: reinforcement learning with less data and less time. *Machine Learning*, 13:103–130, 1993.
- [MAL96] M. MALEK. *Un modèle hybride de mémoire pour le raisonnement à partir de cas*. PhD thesis, Université Joseph Fournier, IMAG, Grenoble, France, 1996.
- [MAR94] S. MARSH. *Formalising trust as a computational concept*. PhD thesis, University of Stirling, 1994.
- [MEA34] G.H. MEAD. *Mind, Self and Society*. University of chicago press, 1934.
- [MH94] R.M. MORGAN and S.D. HUNT. The commitment-trust theory of relationship marketing. *Journal of marketing*, 58(3):20–38, 1994.
- [MH97] K. MAHALINGAM and M.N. HUHS. An ontology tool for distributed information environments. *IEEE Computer*, 30(6), 1997.
- [MIL74] S. MILGRAM. *Obedience to authority: an experimental view*. Harper et Row, 1974.
- [MIN68] M. MINSKY. *Semantic Information Processing*, chapter Semantic memory. MIT Press, Cambridge, United Kingdom, 1968.
- [MIS00] T. MATSUI, I. INUZUKA, and H. SEKI. Adaptive behavior by inductive prediction in soccer agents. In *Proceedings of the 6th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI 2000)*. Springer Verlag, 2000.
- [MIT97] T. MITCHELL. *Machine learning*. McGraw Hill, 1997.
- [MKKC86] T.M. MITCHELL, R. KELLER, and S. KEDAR-CABELLI. Explanation-based generalization: a unifying view. *Journal of Logic Programming*, 1:4–80, 1986.
- [MR94] S. MUGGLETON and L. DE RAEDT. Inductive logic programming: Theory and methods. *Journal of Logic Programming*, 19:629–679, 1994.
- [MT93] T. MITCHELL and S. THRUN. Explanation-based learning: a comparison of symbolic and neural network approaches. In P. UTGOFF, editor, *Proceedings*

- of the tenth international conference on machine learning.* Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [MUL03] G. MULLER. La confiance au sein des systèmes multi agents ouverts et décentralisés. Technical report, Ecole nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, 2003.
- [NEW82] A. NEWELL. The knowledge level. *Artificial Intelligence*, 18:87–127, 1982.
- [NO01] L. NUNES and E. OLIVEIRA. What’s different in learning in the multi-agent context? Technical report, FEUP and LIACC, 2001.
- [ODE02] J. ODELL. Objects and agents compared. *Journal of object technology*, 1(1):41–53, 2002.
- [OPFB02] J. ODELL, H. PARUNKAK, M. FLEISCHER, and S. BRUECKNER. Modeling agents and their environment. *Lecture Notes on Computer Science*, 2585:16–31, 2002.
- [ORS95] B. ORSIER. *Etude et application de systèmes hybrides neurosymboliques*. PhD thesis, Université Joseph Fournier, LIFIA-IMAG, Grenoble, France, 1995.
- [PAR98] F. PAROT. *Dictionnaire de psychologie*. Presses Universitaires de France, Paris, France, grands dictionnaires edition, 1998.
- [PAV41] I.P. PAVLOV. *Lectures on Conditioned Reflexes*. International Publishers, New York, USA, 1941.
- [PB04] E. PARAISO and J.P. BARTHES. Architecture d’une interface conversationnelle pour les agents assistants personnels. In *Journée ATALA*, Paris, France, Mars 2004.
- [PIA23] J. PIAGET. *Le langage et la pensée chez l’enfant*. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel-Paris, France, 1923.
- [PIA37] J. PIAGET. *La construction du réel chez l’enfant*. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel-Paris, France, 1937.
- [PKK01] K.H. PARK, Y.J. KIM, and J.H. KIM. Modular q-learning based multi-agent cooperation for robot soccer. *Robotics and Autonomous Systems*, 35(2):109–122, 2001.
- [PLE96] R. PLETY. *L’apprentissage coopérant*. Collection Ethologie et psychologie des communications. ARCI Presse Universitaire, Lyon, France, 1996.
- [PLE98] R. PLETY. *Comment apprendre et se former en groupe*. Retz, Paris, France, 1998.
- [PP82] M. PIATTELLI-PALMARINI. *Théories du langage, théories de l’apprentissage*. Editions du Seuil, Paris, France, collection points 138 edition, 1982.
- [PRO01] M. PROUST. *A la recherche du temps perdu tome 1: du côté de chez Swann*. Folio Classique, 2001.
- [RAS04] F. RASTIER. Ontologie(s). *Revue d’Intelligence Artificielle*, 18(1):15–40, 2004.
- [RN95] S. RUSSELL and P. NORVIG. *Artificial intelligence. A modern approach*. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.
- [ROC03] C. ROCHE. Ontology: a survey. In *Proceedings of the 8th Symposium on Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge. IFAC.*, 2003.
- [ROT71] J.B. ROTTER. Generalized expectancies for interpersonal trust. *American psychologist*, 26:443–453, 1971.

- [RR00] M. REID and M.R. RYAN. Using ilp to improve planning in hierarchical reinforcement learning. In *Proceedings of the 10th International conference on Inductiv Logic Programming (ILP 2000)*. Springer Verlag, 2000.
- [RZ00] P. RESNICK and R. ZECKHAUSER. Trust among strangers in internet transactions: empirical analysis of ebay’s reputation system. In *Proceedings of NBER workshop on empirical studies of electronic commerce*, 2000.
- [SAB90] G. SABAH. *L’intelligence artificielle et le langage. Représentation des connaissances*. Hermès, Paris, France, 1990.
- [SAB97] G. SABAH. *Apprentissage par l’interaction*, chapter Apprentissage et traitement automatique des langues. Europa Productions, Paris, France, 1997.
- [SAL97] J. SALLANTIN. *Les agents intelligents, essai sur la rationalité des calculs*. Hermès, Paris, France, 1997.
- [SAU95] F. DE SAUSSURE. *Cours de linguistique générale*. Payot et Rivages, 1995.
- [SB98] R.S. SUTTON and A.G. BARTO. *Reinforcement Learning: An Introduction*. MIT Press, Cambridge, United Kigdom, 1998.
- [SD97] S.P. SINGH and D. BERTSEKAS D. Reinforcement learning for dynamic channel allocation in cellular telephone systems. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 9, 1997.
- [SD03] N. SCHWEIGHOFER and K. DOYA. Meta-learning in reinforcement learning. *Neural Networks*, 16(1):5–9, 2003.
- [SEA69] J.R. SEARLE. *Speech Acts, An Essay in the Philosophy of Language*. Cambridge University Press, 1969.
- [SFR99] M. SCHILLO, P. FUNK, and M. ROVATSOS. *Deception, fraud and trust in agent societies*, chapter Who can you trust: dealing with deception, pages 95–106. NationalResearch Council, 1999.
- [SK01] L. STEELS and F. KAPLAN. Aibo’s first words. the social learning of language and meaning. *Evolution of Communication*, 4(1), 2001.
- [SKI74] B.F. SKINNER. *About Behaviorism*. Random House, 1974.
- [SKI91] B.F. SKINNER. *The Behavior of Organisms: An Experimental Analysis*. B. F. Skinner Foundation, 1991.
- [SR99] R. SERBAN and R.V. DE RIET. *Deception, fraud and trust in agent societies*, chapter Trusted environment for privacy protection in online transactions, pages 107–116. NationalResearch Council, 1999.
- [SS94] M. SEKARAN and S. SEN. Multi-agent learning in non-cooperative domains. In *Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 94)*, Cambridge, United Kigdom, 1994. MIT Press.
- [SS02] J. SABATER and C. SIERRA. Reputation and social network analysis in multi agent systems. In *Proceedings of AAMAS*, 2002.
- [SUT88] R.S. SUTTON. Learning to predict by the methods of temporal differences. *Machine Learning*, 3:9–44, 1988.
- [SW99] S. SEN and G. WEISS. *Multi agent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, chapter Learning in multiagent system, pages 259–298. MIT Press, Cambridge, United Kigdom, 1999.
- [THI01] K. THINI. Intégration d’agents dans darx. Technical report, Université Paris 6, 2001.

- [VAN88] D. VANDERVEKEN. *Les Actes de discours : essai de philosophie du langage et de l'esprit sur la signification des énonciations*. Philosophie et langage. Pierre Mardaga, Liège, France, 1988.
- [VBS98] L. VERCOUTER, P. BEAUNE, and C. SAYETTAT. Apprentissages dans les sma. In *Actes des Journée Française sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi Agents (JFIADSMA '98)*, Paris, France, 1998. Hermès.
- [VYG62] L.S. VYGOTSKY. *Thought and Language*. MIT Press, Cambridge, United Kigdom, 1962.
- [VYG78] L.S. VYGOTSKY. *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. MIT Press, Cambridge, United Kigdom, 1978.
- [W3C01] W3C. Daml+oil: Reference description. Technical report, Mars 2001.
- [W3C02] W3C. Web ontology language (owl): Reference version 1.0. Technical report, Novembre 2002.
- [W3C03] W3C. Web ontology language (owl): Abstract syntax and semantics. Technical report, Février 2003.
- [WAT13] J.B. WATSON. Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, 20:158–177, 1913.
- [WAT89] C.J.C.H WATKINS. *Learning from delayed rewards*. PhD thesis, King's College, Cambridge, England, 1989.
- [WD92] C.J.C.H WATKINS and P. DAYAN. Q-learning. *Machine Learning*, 8:279–292, 1992.
- [WD98] M.A. WIERING and M. DORIGO. Learning to control forest fire. In *Proceedings of the 12th international symposium on computer science for environmental protection*. Metropolis Verlag, 1998.
- [WD99] G. WEISS and P. DILLENBOURG. *Cognitive and computational approaches*, chapter What is multi in multi agent learning?, pages 64–80. Pergamon Press, Oxford, United Kigdom, 1999.
- [WEI93] G. WEISS. Learning to coordinate actions in multi-agent systems. In *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 1993)*. Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [WEI99] G. WEISS. *Multiagent systems. A modern approach to distributed artificial intelligence*. MIP Press, Cambridge, United Kigdom, 1999.
- [WIE00] M.A. WIERING. Multi-agent reinforcement learning for traffic light control. In *Proceedings of the Seventeenth International Conference on Machine Learning (ICML 2000)*. Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
- [WIE02] M.A. WIERING. Model-based reinforcement learning in dynamic environments. Technical Report Report CS-UU-2002-029, Utrecht University, 2002.
- [WJ95] M. WOOLDRIDGE and N.R. JENNINGS. Intelligent agents: theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10(2):115–152, 1995.
- [WOL75] J.G. WOLFF. An algorithm for the segmentation of an artificial language analogue. *British journal of psychology*, 66(1), 1975.
- [WS99] H.C. WONG and K. SYCARA. *Deception, fraud and trust in agent societies*, chapter Adding security and trust in multi agent systems, pages 149–162. NationalResearch Council, 1999.
- [WTM89] B. MAC WHINNEY, R. TARABAN, and J. MCDONALD. Language learning: cues or rules. *Journal of memory and language*, 28:255–277, 1989.

- [WV03] Y. WANG and J. VASSILEVA. Bayesian network-based trust model. In *Proceedings of IEEE international conference on web intelligence*, 2003.
- [ZAK03] P.J. ZAK. Trust. *Capco Institute Journal of financial transformation*, 7:13–21, 2003.
- [ZBB⁺95] P. ZWEIGENBAUM, B. BACHIMONT, J. BOUAUD, J. CHARLET J., and J.F. BOISVIEUX. Issues in the structuring and acquisition of an ontology for medical language understanding. *Methods of Information in Medicine*,, 34, 1995.
- [ZIM99] J. ZIMMERMANN. Dima agent replication extension. Technical report, Université Paris 6, 1999.
- [ZICM94] P. ZWEIGENBAUM and le Consortium MENELAS. Menelas: an access system for medical records using natural language. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 45:117–120, 1994.
- [ZICM95a] P. ZWEIGENBAUM and le Consortium MENELAS. *MENELAS: coding and information retrieval from natural language patient discharge summaries*, chapter Advances in Health Telematics, pages 82–89. IOS Press, 1995.
- [ZICM95b] P. ZWEIGENBAUM and le Consortium MENELAS. Menelas: an experiment in the processing of natural language medical reports. Technical Report Rapport final WP3.3, AIM Project, 1995.
- [ZUC86] L. ZUCKER. Production of trust: institutional sources of economic structure: 1840-1920. *Research in organisation behaviour*, 8:53–111, 1986.

Septième partie

ANNEXES

Annexe A

Guide d'installation d'ALONE

Après avoir copié le dossier ALONE sur votre disque dur, certaines configurations au niveau de votre ordinateur et des fichiers du dossier "Launcher" sont à effectuer :

1. Créer une source de données ODBC nommée "AgentDB" avec un lien vers la base "Alone/Launcher/DataBase/AgentDB". Pour cela, aller dans "Outils d'administration" du panneau de configuration. Dans "Sources de données (ODBC)", ajouter une nouvelle source de données système.
2. Modifier le nom de votre serveur et le nommer "ELBE". Cette modification est importante pour lancer ALONE en distribué. Cependant, si vous souhaitez conserver le nom de votre serveur, une modification au niveau de DARX vous sera nécessaire puisque son développement actuel ne permet pas de changer ce nom dynamiquement.
3. Modifier le fichier "Launch ALONE" pour qu'il pointe vers l'emplacement de votre J2SDK (changer simplement la ligne "set JAVA_HOME=").
4. Dans le dossier "DARX", modifier tous les fichiers pour qu'ils pointent vers l'emplacement de votre J2SDK (changer simplement la ligne "set JAVA_HOME=").
5. Revenir dans le dossier "Launcher" et lancer "Launch ALONE". L'interface de lancement décrite dans le chapitre 5 apparaît alors.

Annexe B

L'ontologie du projet MENELAS

B.1 Extrait de l'ontologie en langage OWL

Voici un extrait de l'ontologie telle qu'elle nous a été fournie par Jean Charlet :

```
</owl:Ontology>
<owl:Class rdf:ID="entity">
<rdfs:label xml:lang="fr">entity</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=something about which one can say something in CG.
SWS=represents something or not in the domain.
DWS=
DWP=</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="substratum">
<rdfs:label xml:lang="fr">substratum</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=something about which one can say something in CG.
SWS=abstract or ideal
DWS=represents something or not in the domain.
DWP=everything for which there is a term, and on which one has to say something in
the domain. Label for an essence. </rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="entity"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="idealObject">
<rdfs:label xml:lang="fr">idealObject</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=it is something
SWS=whether it is defined about something else.
DWS=abstract : essence different of existence
ideal : essence = existence
DWP=its referent is itself: no difference between type and instances.</rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="substratum"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="view_point">
<rdfs:label xml:lang="fr">view_point</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=its referent is itself
SWS=point of view on abstract or ideal objects
DWS=
DWP=point of view on objects</rdfs:comment>
```

```

<rdfs:subClassOf rdf:resource="ideal_object"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="meta_abstract_object">
<rdfs:label xml:lang="fr">meta_abstract_object</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=point of view on objects
SWS=point of view internalised as a property in the described object or reference system
to consider these properties.
DWS=idem
DWP=point of view on abstract objects</rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="view_point"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="attribute">
<rdfs:label xml:lang="fr">attribute</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=point of view on abstract objects
SWS=kind of abstract objects (physical or intentional) it is an attribute of.
DWS=
DWP=the point of view does not constitute a reference system.</rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="meta_abstract_object"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="physical_object_attr">
<rdfs:label xml:lang="fr">physical_object_attr</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=internalised point of view on abstract objects
SWS=
DWS=
DWP=about physical_objects</rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="attribute"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="infarction_attr">
<rdfs:label xml:lang="fr">infarction_attr</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=
SWS=
DWS=
DWP=</rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="physical_object_attr"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="physiological_attr">
<rdfs:label xml:lang="fr">physiological_attr</rdfs:label>
<rdfs:comment>SWP=
SWS=
DWS=
DWP=property of a physical object, part of a human being.</rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="physical_object_attr"/>
</owl:Class>
...

```

B.2 Règle XSLT permettant de transformer de l'OWL en XML

Comme nous l'avons évoqué dans le paragraphe 7.2.3, pour des questions de lisibilité dans la thèse, nous avons transformé l'ontologie en OWL au format XML mettant ainsi en avant sa véritable classification hiérarchique mais perdant, cependant, certaines informations relatives à la description des concepts.

Voici donc la règle que nous avons utilisée :

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="no"?>
<xsl:stylesheet xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform"
version="1.0" xmlns:j.0="http://owl.protege.stanford.edu"
xmlns:ina="http://www.ina.fr" xmlns:dcq="http://dublincore.org/2001/08/14/dcq"
xmlns:dc="http://dublincore.org/2001/08/14/dces"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2000/10/XMLSchema"
xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema"
xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns" >
<xsl:output method="xml" encoding="ISO-8859-1" omit-xml-declaration="yes"/>
<xsl:template match="owl:Ontology" />
<xsl:template match="/">
<ontology>
<xsl:apply-templates select="/rdf:RDF/owl:Class[not(rdfs:subClassOf)]"/>
</ontology>
</xsl:template>
<xsl:template match="owl:Class">
<xsl:variable name="NodeID" select="@rdf:ID"/>
<xsl:element name="$NodeID">
<xsl:apply-templates select="/rdf:RDF/owl:Class[rdfs:subClassOf/@rdf:resource=concat
('',$NodeID)]"/>
</xsl:element>
</xsl:template>
</xsl:stylesheet>
```

Annexe C

Détails des scénarii utilisés dans les simulations

C.1 Simulation d'une relève de garde

Jean : And what about the patient of room 5?

Lucien : It's a man. He is 50 years old. He returned yesterday to the hospital following an attack

Jean : Ok. What is the cause of this attack?

Lucien : It is due to an atherosclerosis.

Jean : Why do you think it is an atherosclerosis?

Lucien : because a blood clot had been formed on the surface of the cholesterol plaque in a coronary artery, look at this X-ray.

Jean : Ok. Does he smoke every day?

Lucien : Yes, he smokes 10 cigarettes per day.

Jean : What about is pressure?

Lucien : His diastolic pressure is 95 and his systolic pressure is 150.

Jean : What about is total cholesterol?

Lucien : His total cholesterol is 250.

Jean : Does he have diabetes?

Lucien : Yes, he had diabetes for 3 years.

Jean : When did he have his last attack?

Lucien : His last attack, hum... 6 months ago.

Jean : Well, according to these elements, this patient must have a good treatment. It includes anti-platelet agents to prevent formation of blood clots in the arteries, anti-coagulant to prevent growth of blood clots in the arteries, coronary angiography, clot-dissolving medications to open blocked arteries, medications to decrease the need for oxygen by the heart's muscle and medications to prevent abnormal heart rhythms. This man must take aspirin and beta-blockers (propranolol, metoprolol, atenolol), stop cigarettes, control pressure and diabetes and reduce his bad cholesterol. But, I would like to meet this man to explain to him his activities after this attack. I will recommend that he gets involved in a rehabilitation program, which is supervised by exercise specialists. He must do a lot of exercise like walking, cycling, and swimming in order to strengthen his heart muscle. Is it ok?

Lucien : Yes, of course.

Jean: Well, what about the woman of room 6? What is her first name and her last name? How old is she? What's her weight?

Marie: It is Debora Border. Her weight is 60 kg yesterday morning. Her age? Euh...

Lucien: Her birth date was on 28 july. She was born in 1943.

Jean: Ok, when was she admitted?

Marie: She was admitted on 16th July 2001 for angioplasty. There is a history of an anterior myocardial infarction. She continued with mild angina. Since February of this year the angina has been increasing. She had an 8 minute treadmill test with marked ST segment change. Her symptoms are of grade 3 intensity. She has also had rest pain. Catheterisation on 24th June 1991 revealed good left ventricular function with anterior hypokinesis and 2 tight stenoses in the left anterior descending vessel. Angioplasty was carried out on 17th July 2001. Satisfactory dilatations of both lesions were obtained though a small dissection was produced. There were no further problems after the angioplasty and she was allowed home 2 days after.

Jean: Ok, did she smoke?

Marie: It was noted that she smoked until 8 months ago and that there was a family history of ischaemic heart disease. Cholesterol on the current admission was 4.5 mmol/l.

Jean: Well, why is she here?

Marie: because she is aware of the possibility of re-stenosis following angioplasty. So, her doctor wants that you see her and if symptoms returned, she must be re-evaluate.

Jean: Ok, write on her medical file that drugs on discharge are: Aspirin 300 mgs daily Isosorbide Mononitrate 20 mgs t.i.d. Metoprolol 50 mgs b.d. Then, who are the man of the room 7 and why is he here?

C.2 Simulation d'une discussion sur un article dont le sujet porte sur la maladie des artères coronaires

David : I have a read this morning a paper about Coronary artery disease (CAD). It was very interesting: CAD also known as coronary heart disease (CHD) or coronary atherosclerosis, involves the progressive narrowing of the arteries that nourish the heart muscle. Often there are no symptoms, but if one or more of these arteries become severely narrowed, angina may develop during exercise, stress, or other times when the heart muscle is not getting enough blood.

Pierre : Yes, it is very strange about the causes of this disease. The narrowing is due to a buildup of fatty plaque (atherosclerosis) along the artery walls. These deposits are composed mostly of cholesterol, other lipids, and fibrous tissue, such as collagen. Coronary disease appears to be a lifelong process in some people, beginning at an early age and progressing slowly until the vessels become so occluded that the heart muscle no longer gets adequate nourishment. The underlying cause is unknown, although it is seen most frequently in people who live in developed industrialized nations.

Marc : And the diagnosis is difficult. A coronary artery must be narrowed to less than 30% of its original size before there is a serious reduction in the blood flow to the heart muscle served by that vessel. Generally, about 5% of the total cardiac output of blood goes through the coronary arteries; thus there is adequate coronary blood flow to meet normal demands at rest even if the vessels are 70 to 90% occluded. If the coronary arteries are seriously blocked, however, blood flow may not be adequate for any increased demand, such as that of exercise or an emotional upset. If the heart muscle cannot get enough oxygen—a state known as myocardial ischemia—symptoms such as chest pain (angina) or shortness of breath may result.

Pierre : A presumptive diagnosis of coronary disease is based on a review of symptoms, health history, an electrocardiogram, and an exercise stress test, perhaps with a thallium scan. A more definitive diagnosis requires cardiac catheterization and angiography. During an exercise stress test, the patient is hooked up to an electrocardiographic monitor (an ECG or EKG machine) and then asked to walk on a treadmill, peddle a stationary bicycle, or climb steps. The ECG monitor will show whether the heart muscle is getting enough blood. An exercise test also detects silent ischemia, a condition with no symptoms in which heart muscle does not get enough blood. If severe narrowing is suspected, a coronary angiogram may be needed. This examination entails threading a catheter through a blood vessel into the heart, and then injecting a dye into the coronary arteries to make them visible on x-rays.

David : And they speak about the treatment, in this article. Various medications constitute the first-line treatment of coronary artery disease. These include: Beta-Blocking Drugs: These agents act by blocking the effect of the sympathetic nervous system on the heart, slowing heart rate, decreasing blood pressure, and thereby reducing the oxygen demand of the heart. Studies have found that these drugs also can reduce the chances of dying or suffering a recurrent heart attack if they are started shortly after suffering a heart attack and continued for 2 years. Calcium-Channel-Blocking Drugs: All muscles need varying amounts of calcium in order to contract. By reducing the amount of calcium that enters the muscle cells in the coronary artery walls, spasms can be prevented. Some calcium-channel-blocking drugs also decrease the work-load of the heart and some lower

the heart rate as well. Nitrates: Nitroglycerin may be prescribed to both treat and prevent attacks of angina. Do you know the surgical treatment?

Pierre : Yes, it is Coronary artery bypass surgery. An estimated 170,000 Americans undergo coronary artery bypass surgery each year. This operation, once considered a difficult achievement, is now almost routine in many medical centers. Indeed, there is a good deal of controversy over whether it is now being used unnecessarily to treat coronary disease that could be controlled just as effectively by more conservative, less costly medical therapies.

Marc : There remains some disagreement among doctors as to the indications for coronary bypass surgery. Studies have conclusively demonstrated that the operation prolongs life in patients who have a severely blocked left main coronary artery. It is also indicated in most cases in which three major arteries are diseased. There is less agreement about when it is appropriate for other patients. In general, it is recommended for people with disabling angina that cannot be controlled by conventional therapy and who are also good candidates for surgery.

Pierre : The operation itself is relatively simple. For "on-pump" procedures, circulation is maintained by a heart-lung machine. In an "off-pump" operation, the surgeon operates directly on the beating heart. Most people who undergo the operation report feeling vastly better afterward. Very often, the patient may have suffered from disabling angina or other cardiac limitations before the operation. With an increased blood supply to the heart muscle, these problems should be eliminated or minimized.

Marc : It should be noted that not all people with severe coronary disease are suitable candidates for surgery, and also that the operation is not always successful in achieving its intended goals. As with any surgical procedure, the operation involves some risk; nationwide, about 1 to 3% of bypass patients do not survive the operation or recovery period. The risk is highest for people who have heart failure or are debilitated by age or other medical conditions. Women do particularly poorly.

Pierre : The skill and experience of the surgical and recovery teams also are important considerations. Patients considering coronary bypass surgery always should determine whether the surgeon performs this particular operation regularly (at least 2 or 3 times per week) and whether there is a skilled recovery team and a special recovery unit. Although bypass surgery greatly improves the way most patients feel, it is not a cure for heart disease. Unless other preventive steps are taken, the processes that caused the artery disease will continue. In fact, the grafts seem to become diseased even faster than the natural coronary arteries. Therefore, it is particularly important for bypass patients to follow a prudent lifestyle following the operation.

C.3 Simulation d'une discussion sur la cardiomyopathie

Mathilde : There are three basic types of cardiomyopathy: Dilated cardiomyopathy. The heart muscle becomes weak and the heart chambers subsequently enlarge (dilate); Hypertrophic cardiomyopathy. The heart muscle itself is much thicker than normal; Restrictive cardiomyopathy. The heart becomes stiff and cannot fill efficiently during diastole, the period of the heartbeat when the chambers fill with blood.

Christine : Yes. Dilated cardiomyopathy refers to overall enlargement (dilatation) of the heart chambers, especially the ventricles. Although this enlargement is a key part of dilated cardiomyopathy, it is not the initial problem, but rather the heart's own response to a weakness of heart muscle and poor pumping ability. The weakness of the heart muscle in this condition is generalized, "global" - all parts of the myocardium are affected about equally. Enlargement of the heart is the heart's way of trying to compensate for the weakness of its muscle. This is called a compensatory mechanism. If the heart muscle is weak, it is unable to pump out the same portion of blood that it could at normal strength. Rather than simply "accepting" the limitations of decreased pumping ability, the heart and other organs of the body undergo compensatory changes to try to maximize their efforts. Dilated cardiomyopathy causes heart failure - an inability of the heart to provide an adequate supply of blood to the body's organs and tissues - which if left untreated is always associated with excess fluid retention, congestion in the lungs and liver, and swelling of the legs.

Luc : Hypertrophic cardiomyopathy is an overgrowth of heart muscle that can impair blood flow both into and out of the heart. The disease is characterized by a disorderly growth of heart muscle fibers, causing the heart chambers to become thick-walled and bulky. All the chambers are affected, but the thickening is generally most striking in the walls of the left ventricle. Most commonly, one of the walls, the septum, which separates the right and left ventricles, is asymmetrically enlarged. The distorted left ventricle contracts, but the supply of blood to the brain and other vital organs may be inadequate because blood is trapped within the heart during contractions. Hypertrophic cardiomyopathy is sometimes called idiopathic hypertrophic subaortic (beneath the aorta) stenosis, abbreviated IHSS. This overgrowth creates a bulge that protrudes into the ventricular chamber and impedes the flow of blood from the heart to the aorta and the rest of the body. When this obstruction is present, the cardiomyopathy is also called hypertrophic obstructive cardiomyopathy (HOCUM, often pronounced "hokum"). In this condition, the problem is not that the heart muscle is weak but that the overgrown heart muscle impedes the flow of blood through and out of the heart.

Jeanne : And, restrictive cardiomyopathy is less common than the other two forms. It can stem from infiltration of the heart muscle with abnormal material (for example in amyloidosis) or with any other type of chronic fibrosing process. The result is a heart that cannot expand sufficiently to fill with blood, and cannot contract efficiently such that adequate amounts of blood perfuse either the lungs for oxygenation, or the tissues for normal blood supply.

Mathilde : What about causes, risk factors and symptoms?

Jeanne : Possible causes of dilated congestive cardiomyopathy include: inflammation of the heart muscle (myocarditis) either infectious or non-infectious, excessive alcohol consumption, nutritional deficiencies, complications arising shortly before or after child-

birth (postpartum), and genetic disorders. Causes of the hypertrophic and restrictive forms are usually unknown.

Luc: Symptoms associated with all forms of cardiomyopathy can range from minor to moderate feelings of fatigue, shortness of breath with exertion, irregular heartbeat, to frank symptoms and signs of congestive heart failure where the heart no longer functions adequately to circulate blood. And the treatment diagnosis, are they good?

Christine: The diagnosis of cardiomyopathy is made by a physician via a thorough history and physical exam. Definitive diagnosis usually depends upon cardiac catheterization with measurement of heart function and flow characteristics, and sometimes heart muscle biopsy.

Mathilde: Management of dilated cardiomyopathy involves treating the underlying disorder such as a curable infection or nutritional deficiency. For example, in the case of heart muscle disease caused by alcohol consumption, treatment entails total abstinence. But in most cases the cause is unknown, so treatment focuses on relieving symptoms and improving the function of the injured heart chambers. Patients receive medications that enhance the capacity of the heart muscle. The few drugs that produce this effect work indirectly by increasing the level of calcium inside the heart cells. (Calcium initiates heart muscle contractions). Digitalis and its derivatives such as digoxin, the oldest and best known of such drugs, are usually administered orally but may be given by an intravenous injection. More potent cardiac stimulants such as dobutamine (Dobutex), dopamine (Intropin), and amrinone (Inocor) are reserved for hospital use. Management of hypertrophic cardiomyopathy involves limiting stressful physical activity and the use of drugs to relieve symptoms. Traditionally, drugs called beta blockers have been used to prevent a rapid heartbeat and decrease the excessive force of contractions. Antiarrhythmic drugs are often prescribed to treat abnormal heart rhythms. In the past decade, calcium channel blockers, particularly verapamil (Calan), have been shown to be especially effective for relief of symptoms. Like beta blockers, calcium antagonists reduce the force of the heart's contractions, but they also increase the flexibility of the bulky heart chambers. These combined effects increase the efficiency of pumping and reduce congestion.

C.4 Simulation d'une discussion sur le déroulement d'une anesthésie

Stéphanie: We have to do a general anesthesia tomorrow morning to Mr Smith because he must be operated. Well, can you describe the different steps of an anesthesia?

Jacques: Yes, of course. I will explain to you but we are two and Mr Kenneth will help me during this explanation, ok?

Henri: Yes, Sir.

Jacques: First, general anesthesia is the induction of a state of unconsciousness with the absence of pain sensation over the entire body, through the administration of anesthetic drugs. It is used during certain medical and surgical procedures. General anesthesia has many purposes including: pain relief (analgesia), blocking memory of the procedure (amnesia), producing unconsciousness, inhibiting normal body reflexes to make surgery safe and easier to perform, relaxing the muscles of the body.

Henri: Anesthesia performed with general anesthetics occurs in four stages which may or may not be observable because they can occur very rapidly:

- Stage One: Analgesia. The patient experiences analgesia or a loss of pain sensation but remains conscious and can carry on a conversation.
- Stage Two: Excitement. The patient may experience delirium or become violent. Blood pressure rises and becomes irregular, and breathing rate increases. This stage is typically bypassed by administering a barbiturate, such as sodium pentothal, before the anesthesia.
- Stage Three: Surgical Anesthesia. During this stage, the skeletal muscles relax, and the patient's breathing becomes regular. Eye movements slow, then stop, and surgery can begin.
- Stage Four: Medullary Paralysis. This stage occurs if the respiratory centers in the medulla oblongata of the brain that control breathing and other vital functions cease to function. Death can result if the patient cannot be revived quickly. This stage should never be reached. Careful control of the amounts of anesthetics administered prevent this occurrence.

Stéphanie: And what about the agents used in anesthesia?

Jacques: Agents used for general anesthesia may be either gases or volatile liquids that are vaporized and inhaled with oxygen, or drugs delivered intravenously. A combination of inhaled anesthetic gases and intravenous drugs are usually delivered during general anesthesia; this practice is called balanced anesthesia and is used because it takes advantage of the beneficial effects of each anesthetic agent to reach surgical anesthesia. If necessary, the extent of the anesthesia produced by inhaling a general anesthetic can be rapidly modified by adjusting the concentration of the anesthetic in the oxygen that is breathed by the patient. The degree of anesthesia produced by an intravenously injected anesthetic is fixed and cannot be changed as rapidly. Most commonly, intravenous anesthetic agents are used for induction of anesthesia and then followed by inhaled anesthetic agents.

Henri: General anesthesia works by altering the flow of sodium molecules into nerve cells (neurons) through the cell membrane. Exactly how the anesthetic does this is not understood since the drug apparently does not bind to any receptor on the cell surface and does not seem to affect the release of chemicals that transmit nerve impulses (neurotransmitters) from the nerve cells. It is known, however, that when the sodium molecules

do not get into the neurons, nerve impulses are not generated and the brain becomes unconscious, does not store memories, does not register pain impulses from other areas of the body, and does not control involuntary reflexes. Although anesthesia may feel like deep sleep, it is not the same. In sleep, some parts of the brain speed up while others slow down. Under anesthesia, the loss of consciousness is more widespread.

Stéphanie: When general anesthesia was first introduced in medical practice, ether and chloroform were inhaled with the physician manually covering the patient's mouth. Since then, general anesthesia has become much more sophisticated. So, now, what are the anesthetic agents?

Jacques: During most surgical procedures, anesthetic agents are now delivered and controlled by computerized equipment that includes anesthetic gas monitoring as well as patient monitoring equipment. Anesthesiologists are the physicians that specialize in the delivery of anesthetic agents. Currently used inhaled general anesthetics include halothane, enflurane, isoflurane, desflurane, sevoflurane, and nitrous oxide. Commonly administered intravenous anesthetic agents include ketamine, thiopental, opioids, and propofol. General anesthetics are given only by anesthesiologists, the medical professionals trained to use them. These specialists consider many factors, including a patient's age, weight, medication allergies, medical history, and general health, when deciding which anesthetic or combination of anesthetics to use. General anesthetics are usually inhaled through a mask or a breathing tube or injected into a vein, but are also sometimes given rectally.

Stéphanie: What is the recommended dosage?

Henri: The dosage depends on the type of anesthetic, the patient's age and physical condition, the type of surgery or medical procedure being done, and other medication the patient takes before, during, or after surgery.

Stéphanie: I think that they are complications sometimes, which are they?

Jacques: Although the risks of serious complications from general anesthesia are very low, they can include heart attack, stroke, brain damage, and death. Anyone scheduled to undergo general anesthesia should thoroughly discuss the benefits and risks with a physician. The risks of complications depend, in part, on a patient's age, sex, weight, allergies, general health, and history of smoking, drinking alcohol, or drug use. Some of these risks can be minimized by ensuring that the physician and anesthesiologist are fully informed of the detailed health condition of the patient, including any drugs that he or she may be using. Older people are especially sensitive to the effects of certain anesthetics and may be more likely to experience side effects from these drugs. Patients who have had general anesthesia should not drink alcoholic beverages or take medication that slow down the central nervous system (such as antihistamines, sedatives, tranquilizers, sleep aids, certain pain relievers, muscle relaxants, and anti-seizure medication) for at least 24 hours, except under a doctor's care.

Stéphanie: What questions can I ask to my patient before his anesthesia?

Henri: Anyone who has had allergic or other unusual reactions to barbiturates or general anesthetics in the past should notify before having general anesthesia. In particular, people who have had malignant hyperthermia or whose family members have had malignant hyperthermia during or after being given an anesthetic should inform the physician. Signs of malignant hyperthermia include rapid, irregular heartbeat, breathing problems, very high fever, and muscle tightness or spasms. These symptoms can occur following the administration of general anesthesia using inhaled agents, especially halothane. In addition, the doctor should also be told about any allergies to foods, dyes, preservatives,

or other substances.

Henri: Before being given a general anesthetic, a patient who has any of the following conditions should inform you: neurological conditions, such as epilepsy or stroke; problems with the stomach or esophagus, such as ulcers or heartburn; eating disorders; loose teeth, dentures, bridgework; heart disease or family history of heart problems; lung diseases, such as emphysema or asthma; history of smoking; immune system diseases; arthritis or any other conditions that affect movement; diseases of the endocrine system, such as diabetes or thyroid problems.

Stéphanie: Ok, what are the side effects?

Henri: Because general anesthetics affect the central nervous system, patients may feel drowsy, weak, or tired for as long as a few days after having general anesthesia. Fuzzy thinking, blurred vision, and coordination problems are also possible. For these reasons, anyone who has had general anesthesia should not drive, operate machinery, or perform other activities that could endanger themselves or others for at least 24 hours, or longer if necessary. Most side effects usually disappear as the anesthetic wears off. They should be notified to you if these or other side effects persist or cause problems, such as Headache, vision problems, including blurred or double vision, shivering or trembling, muscle pain, dizziness, lightheadedness, or faintness, drowsiness, mood or mental changes, nausea or vomiting, sore throat, nightmares or unusual dreams.

Stéphanie: And, are there any interactions?

Jacques: Yes. General anesthetics may interact with other medicines. When this happens, the effects of one or both of the drugs may be altered or the risk of side effects may be greater. Anyone scheduled to undergo general anesthesia should inform the doctor about all other medication that he or she is taking. This includes prescription drugs, non-prescription medicines, and street drugs. Serious and possibly life-threatening reactions may occur when general anesthetics are given to people who use street drugs, such as cocaine, marijuana, phencyclidine (PCP or angel dust), amphetamines (uppers), barbiturates (downers), heroin, or other narcotics. Anyone who uses these drugs should make sure their doctor or dentist knows what they have taken.

Stéphanie: Ok, thanks a lot for these informations.

C.5 Simulation de la présentation dans un service d'une nouvelle méthode utilisée en chirurgie cardiaque

Kévin : Dear colleagues, what do you think about port access cardiac surgery, the next generation of minimally invasive intervention?

Rémi : I don't know this, what does "port access" mean?

Kévin : Port access heart surgery represents a new format for the surgical treatment of patients with valvular abnormalities, coronary artery disease, and certain congenital cardiac anomalies. This new approach is based on advanced technology now available through HEARTPORT, a northern California company founded in 1991.

Manuel : Yes, HEARTPORT provides a platform for the performance of a variety of cardiac sign through small incisions ("ports"), without a median sternotomy - while allowing complete access to a non-beating, protected and well visualized heart.

Rémi : I know MIDCAB, How does port access differ from it?

Denis : MIDCAB involves a small left anterior thoracotomy incision to provide access to the anterior surface of the heart. This incision also allows for the harvesting of the internal mammary artery from the chest wall and subsequent coronary bypass grafting, primarily to the LAD. This approach, known as MIDCAB, requires sewing a donor blood vessel (the IMA) to a surface coronary vessel (the LAD) on the heart beat. This procedure is facilitated by special retraction and stabilization devices, along with pharmacologic agents to slow the heart rate and vigor of contractility. These maneuvers come close to stabilizing and significantly reducing motion to the area where an anastomosis with fine suture is accomplished. Nonetheless, the critical work is performed on a beating, functioning heart.

Manuel : HEARTPORT technology provides for two major additions to the MIDCAB approach. With the use of specially designed cannulae inserted through the femoral artery and vein (with fluoroscopic guidance), the patient can be placed on full cardiopulmonary bypass, without the need for a sternotomy. This capacity is not new, as many of the original open heart procedures were undertaken with this approach 30 years ago. HEARTPORTS's truly original contribution is its design of a special balloon catheter, inserted through the femoral artery cannula, which can be manipulated into position just above the aortic valve, again using X-ray or echocardiographic guidance. When inflated, this balloon interrupts blood flow to the heart and essentially cross clamps the aorta from within. This "endoclamp" also has the advantage of a central lumen distally, which can deliver a cold blood-potassium solution - known as "cardioplegia" - into the aortic root, to elicit cardiac arrest.

Denis : Additional innovative features of the HEARTPORT approach include special catheters designed to widen the margin of safety, thereby extending the utility of this approach to a broader scope of cardiac surgery. Specifically, two catheters are inserted percutaneously by the cardiac anesthetist: one is placed into the pulmonary artery to provide venting and decompression of the heart during "endo-clamping," and the other is directed into the coronary sinus to allow sequential instillation of cold cardioplegic solution in retrograde fashion to optimally protect the heart during cardiac arrest. Through these devices, HEARTPORT provides the capacity to perform a wide variety of "open" cardiac procedures, ranging from the simple to the complex, with many of the specific safety features formerly available only through a standard sternotomy approach.

Rémi : Which procedures can be performed with HEARTPORT?

Kévin : HEARTPORT technology can theoretically be applied to the entire spectrum of cardiac surgery, with the most promising application in the approach to the mitral valve. Through a very small right anterior thoracotomy, the left atrium can be exposed and opened, providing a "bird's eye" view of the diseased mitral valve. Thus, valve replacement or mitral repair with valvular preservation can be readily performed through port access, with the heart still and completely protected. Through minor adjustments in cannulation, this approach can be modified to address abnormalities in the right heart, such as tricuspid valve problems and atrial septal defects.

Manuel : HEARTPORT also promises to play a role in single or multi-vessel coronary artery bypass grafting. Currently, the left anterior thoracotomy approach has been utilized with success in providing access to perform mammary artery grafts to the vessels on the anterior surface of the heart (LAD and diagonal branches). Rapidly evolving techniques using sequential grafting and retraction devices now suggest the capability of performing multiple bypasses to lateral and posterior branch vessels - thereby making complete revascularization, using port access technology, a real possibility in the near future.

Rémi : What advantages does the port access approach offer over standard operation?

Denis : Some of the advantages of this new form of minimally invasive heart surgery are obvious, while others remain theoretical and await the test of time.

Kévin : Clearly, the port access method allows for smaller, less painful, more cosmetically pleasing incisions, while providing most of the advantages of standard sternotomy. There is a strong likelihood of fewer wound complications, including infection and dehiscence. As smaller wounds are likely to be better tolerated, fewer analgesics may be required, allowing for earlier mobilization, potentially earlier patient discharge, and return to an active lifestyle - including resumption of employment. It is conceivable, although not proven, that progress throughout the entire post-operative recovery period may be accelerated, with patients released from the ICU within hours of arrival; ambulating on the first postoperative day as a routine; and ready for discharge within 48-72 hours of operation. Should such a protocol prove workable, a substantial cost reduction could be anticipated.

Manuel : Another potential great advantage can be found in redo surgery. Patients with a history of prior cardiac surgery are typically at increased operative risk with reoperation, mainly because of the threat of damage to cardiac structures during resternotomy and dissection of surrounding scar tissue. With the use of HEARTPORT and a minimally invasive approach, only small areas of the cardiac surface require exposure and access to these sites - which is usually through virgin tissues (small right or left thoracotomy) without prior scarring.

C.6 Simulation d'un groupe de travail sur le cathétérisme cardiaque

Lucas : What do you mean by cardiac catheterization?

Roger : Cardiac catheterization (also called heart catheterization) is a diagnostic procedure which does a comprehensive examination of how the heart and its blood vessels function. One or more catheters is inserted through a peripheral blood vessel in the arm (antecubital artery or vein) or leg (femoral artery or vein) with X ray guidance. This procedure gathers information such as adequacy of blood supply through the coronary arteries, blood pressure, blood flow throughout chambers of the heart, collection of blood samples, and X rays of the heart's ventricles or arteries.

Michel : A test that can be performed on either side of the heart, cardiac catheterization checks for different functions in both the left and right sides. When testing the right heart side, tricuspid and pulmonary valve function are evaluated, in addition to measuring pressures of and collecting blood samples from the right atrium, ventricle, and pulmonary artery. Left-sided heart catheterization is performed by way of a catheter through an artery which tests the blood flow of the coronary arteries, function of the mitral and aortic valves, and left ventricle.

Gerard : Why do you conduct a cardiac catheterization?

Lucas : The primary reason for conducting a cardiac catheterization is to diagnose and manage persons known or suspected to have heart disease, a frequently fatal condition that leads to 1.5 million heart attacks annually in the United States. Symptoms and diagnoses that may lead to performing this procedure include: chest pain, characterized by prolonged heavy pressure or a squeezing pain, abnormal treadmill stress test, myocardial infarction, also known as a heart attack, congenital heart defects, or heart problems that originated from birth, A diagnosis of valvular-heart disease, A need to measure the heart muscle's ability to pump blood.

Gerald : Typically performed along with angiography, a technique of injecting a dye into the vascular system to outline the heart and blood vessels, a catheterization can aid in the visualization of any blockages, narrowing, or abnormalities in the coronary arteries. If these signs are visible, the cardiologist may assess the patient's need and readiness for coronary bypass surgery, or perhaps a less invasive approach, such as dilation of a narrowed blood vessel either surgically or with the use of a balloon (angioplasty).

Roger : When looking at the left side of the heart, fluoroscopic guidance also allows the following diagnoses to be assessed: enlargement of the left ventricle, ventricular (abnormal dilation of a blood vessel), narrowing of the aortic valve, insufficiency of the aortic or mitral valve, the detour of blood from one side of the heart to the other due to septal defects (also known as shunting).

Michel : I take always some precautions when I make a Cardiac catheterization. It is categorized as an "invasive" procedure which involves the heart, its valves, and coronary arteries, in addition to a large artery in the arm or leg. Due to nature of the test, it is important to evaluate for the following conditions before considering this procedure: A diagnosis of a bleeding disorder, poor kidney function, or debilitation. Any of these pre-existing conditions typically raises the risk of the catheterization procedure and may be reason to cancel the procedure. A diagnosis of heart valve disease: If this is detected, antibiotics may be given before the test to prevent inflammation of the membrane which lines the heart (endocarditis).

Joseph: Can you describe a cardiac catheterization?

Michel: To understand how a cardiac catheterization is able to diagnose and manage heart disease, the basic workings of the heart muscle must also be understood. Just as the body relies on a constant supply of blood to aid in its everyday functions, so does the heart. The heart is made up of an intricate web of blood vessels (coronary arteries) that ensure an adequate supply of blood rich in oxygen and nutrients. It is easy to see how an abnormality in any of these arteries can be detrimental to the heart's function. These abnormalities cause the heart's blood flow to decrease and result in the condition known as coronary artery disease or coronary insufficiency.

Gerald: Catheterization is a valuable tool in detecting and treating abnormalities of the heart. Through the use of fluoroscopic (X ray) guidance, a catheter, which may resemble a balloon tipped tube, is strung through the veins or arteries into the heart, so the cardiologist can monitor a body's various functions at each moment. Generally a test that lasts two to three hours, a patient should expect the following prior to and during the catheterization procedure:

- A mild sedative may be given that will allow the patient to relax but remain conscious during the test.
- An intravenous needle will be inserted in the arm to administer medication. Electrodes will be attached to the chest to enable the painless procedure known as an electrocardiograph.
- Prior to inserting a catheter into an artery or vein in the arm or leg, the incision site will be made numb by injecting a local anesthetic. When the anesthetic is injected it may feel like a pin-prick followed by a quick stinging sensation. Pressure may also be experienced as the catheter travels through the blood vessel.
- After the catheter is guided into the coronary-artery system, a dye (also called a radiocontrast material) is injected to aid in the identification of any abnormalities of the heart. During this time, the patient may experience a hot, flushed feeling or a quickly passing nausea. Coughing or breathing deeply aids in any discomfort.
- Medication may be given during the procedure if chest pain is experienced, and nitroglycerin may also be administered to allow expansion of the heart's blood vessels.
- When the test is complete, the physician will remove the catheter and close the skin with several sutures or tape.

Joseph: Is there a specific preparation?

Lucas: Prior to the cardiac catheterization procedure, it is important to relay information to the physician or nurse regarding allergies to shellfish (such as shrimp or scallops) which contain iodine, iodine itself, or the dyes that are commonly used in other diagnostic tests. Because this procedure is categorized as a surgery, the patient will be instructed not to eat or drink anything for at least six hours prior to the test. Just before the test begins, the patient will urinate and change into a hospital gown, then lie flat on a padded table that may also be tilted in order for the heart to be examined from a variety of angles.

Gerald: Do you make generally aftercare?

Roger: Yes, of course! While cardiac catheterization may be performed on an out-patient basis, a patient may require close monitoring following the procedure while remaining in the hospital for at least 24 hours. The patient will be instructed to rest in bed for at least eight hours immediately after the test. If the catheter was inserted into a vein or artery

in the leg or groin area, the leg will be kept extended for four to six hours. If a vein or artery in the arm was used to insert the catheter, the arm will need to remain extended for a minimum of three hours.

Joseph: The patient should expect a hard ridge to form over the incision site that diminishes as the site heals. Bluish discoloration under the skin at the point of insertion should also be expected but fades in two weeks. It is also not uncommon for the incision site to bleed during the first 24 hours following surgery. If this should happen, the patient should apply pressure to the site with a clean tissue or cloth for 10-15 minutes. Are there any risks for the patient?

Michel: Similar to all surgical procedures, the cardiac catheterization test does involve some risks: " Complications that may occur during the procedure include cardiac arrhythmias (an irregular heart beat) " Pericardial tamponade (a condition that causes excess pressure in the pericardium which affects the heart due to accumulation of excess fluid) " The rare occurrence of myocardial infarction (heart attack) or stroke may also develop due to clotting or plaque rupture of one or more of the coronary or brain arteries. Before left-side catheterization is performed, the anticoagulant medication heparin may be administered. This drug helps decrease the risk of the development of a blood clot in an artery (thrombosis) and blood clots traveling throughout the body (embolization). The risks of the catheterization procedure increase in patients over the age of 60, those who have severe heart failure, or persons with serious valvular heart disease.

Joseph: What are the abnormal and normal results?

Gerard: Normal findings from a cardiac catheterization will indicate no abnormalities of heart chamber size or configuration, wall motion or thickness, the direction of blood flow, or motion of the valves. Smooth and regular outlines on the X ray indicate normal coronary arteries. An essential part of the catheterization is measuring intracardiac pressures, or the pressure in the heart's chambers and vessels. Pressure readings that are higher than normal are significant for a patient's overall diagnosis. The pressure readings that are lower, other than those which are produced as a result of shock, typically are not significant. An ejection fraction, or a comparison of how much blood is ejected from the heart's left ventricle during its contraction phase with a measurement of blood remaining at the end of the left ventricle's relaxation phase, is also determined by performing a catheterization. The cardiologist will look for a normal ejection fraction reading of 60-70%.

Lucas: Cardiac catheterization provides valuable still and motion x-ray pictures of the coronary arteries that help in diagnosing coronary artery disease, poor heart function, disease of the heart valves, and septal defects (a defect in the septum, the wall that separates two heart chambers).

Roger: The most prominent sign of coronary artery disease is the narrowing or blockage in the coronary arteries, with narrowing that is greater than 70% considered significant. A clear indication for intervention (by angioplasty or surgery) is a finding of significant narrowing of the left main coronary artery and/or blockage or severe narrowing in the high, left anterior descending coronary artery.

Michel: A finding of impaired wall motion is an additional indicator of coronary artery disease, aneurysm, an enlarged heart, or a congenital heart problem. Using the findings from an ejection fraction test which measures wall motion, cardiologists look at an ejection fraction reading under 35% as increasing the risk of complications while also decreasing a successful long term or short term outcome with surgery.

Gerard: Detecting the difference in pressure above and below the heart valve can verify heart valve disease. The greater the narrowing correlates with the higher pressure diffe-

rence. To confirm septal defects, a catheterization measures oxygen content on both the left and right sides of the heart. The right heart pumps unoxygenated blood to the lungs, and the left heart pumps blood that contains oxygen from the lungs to the rest of the body. Right side elevated oxygen levels indicate left-to-right atrial or ventricular shunt. A left side that experiences decreased oxygen indicates a right-to-left shunt.

C.7 Simulation d'une discussion sur l'asthme

Liliane: Asthma is a chronic inflammatory disorder of the airways within the lungs that affects over 17 million people in the United States. It's incredible!

Monique: Yes. But what is asthma exactly?

Claire: The lung is the main organ of the respiratory system and its main function is respiration (exchange of gases between the environment and the body). Air enters the nose where it is filtered, warmed and humidified. After passing through the trachea (windpipe), the air travels into the lungs through the bronchi (a system of branching airway tubes that become smaller as they reach deeper into the lung). The smallest of the bronchi, the bronchioles, open into balloon-like sacs called alveoli. An asthma attack occurs when these airways narrow and the muscles around them tightly contract (this is called bronchospasm). The membranes lining the inner walls of the airways become swollen and inflamed, and the glands within these walls produce excess mucus. An asthma attack can be brief or it can last for several days.

Monique: What are the causes and risk factors of it?

Liliane: The two main factors that contribute to asthma are inflammation of the airway passages and hyperreactive bronchi. When triggered by stimulus (see examples below), certain cells lining the airways release chemical substances called mediators that lead to inflammation. This inflammation causes the airway passages to swell, the cells lining the passages to produce excess mucus, and the airway opening to narrow. Hyperreactivity means that when the bronchi are exposed to stimulus they respond in an exaggerated way by constricting the airway muscle and making it difficult to breathe. The stimulus or "triggers" that can induce an asthma attack are:

- allergens (substances to which people are allergic), such as pollens, foods, dust, mold, feathers or animal dander
- irritants in the air, such as dirt, cigarette smoke, gases and air pollution
- odors in the household, such as household cleaners, perfumes, paints, varnishes, fabric softeners, laundry detergents and cooking fumes
- irritants in the workplace, such as fumes and vapors from wood products and metals
- metabisulfite - a food preservative found in dried fruits, fruit juices, beer, wine, salad bars and vegetables
- respiratory infections, such as colds, flu, sore throat and bronchitis
- too much exertion
- emotional stress, such as excessive fear or excitement
- weather conditions - very cold, windy or sudden changes in the weather
- medications, such as aspirin or related drugs, as well as some drugs used to treat glaucoma and high blood pressure
- menstrual cycle - Women with asthma occasionally have increased symptoms just before their menstrual period.
- nighttime - Asthma often worsens at night for a few reasons. The body releases chemicals during the night that may alter lung function. Also, the body's temperature tends to drop at night, which causes the airways to cool. Lastly, an exposure to allergens during the day takes up to several hours to affect the body. When the body reacts, it usually coincides with the nighttime hours.

Claire: Symptoms of asthma are difficult to recognize sometimes. To compensate, the person breathes at a higher lung volume to keep the air flowing through the airways. The

greater the airway limitation, the higher the lung volume must be to keep the airways open. This process leads to the following symptoms of asthma: wheezing, cough - chronic or recurring (worse particularly at night and in the early hours of the morning), pain or a tight feeling in the chest, shortness of breath, flaring of the nostrils when breathing in (especially in children), interrupted talking, agitation, hyperinflation (appearance of hunched shoulders, hunching forward or preferring not to lie down).

Monique: Yes, and the diagnosis too. Asthma is sometimes hard to diagnose, because it can resemble other respiratory problems such as emphysema, bronchitis and lower respiratory infection. Therefore, the diagnosis of asthma is based on: repeated careful measurement of how efficiently the patient can force air out of the lungs, a thorough medical history and a physical examination, chest x rays, laboratory tests, Spirometers and peak flow meters are used to measure how efficiently the patient can force air out of the lungs. Spirometers record the rate at which a person exhales air from the lungs and the total volume exhaled. Peak flow is a measurement of the fastest rate at which a person can force air out the lungs. The patient inhales and exhales into a small hand held device called a peak flow meter. A simple scale on the meter registers a value for peak flow. This reading helps the doctor evaluate current lung function. Laboratory tests may include blood and allergy tests. Are there any treatments?

Liliane: Hum, it is difficult. Asthma cannot be cured, but it can be controlled with proper asthma management. The first step in asthma management is environmental control. Asthmatics cannot escape the environment, but through some changes, they can control its impact on their health. Listed below are some ways to change the environment in order to lessen the chance of an asthma attack: Clean the house at least once a week and wear a mask while doing it, Avoid pets with fur or feathers, Wash the bedding (sheets, pillow cases, mattress pads) weekly and in hot water, Encase the mattress, pillows and box springs in dust-proof covers, Replace bedding made of down, kapok or foam rubber with synthetic materials, Consider replacing upholstered furniture with leather or vinyl, Consider replacing carpeting with hardwood floors or tile, Use the air conditioner, Keep the humidity in the house low. The second step is to monitor lung function. Asthmatics use a peak flow meter to gauge their lung function. Lung function decreases before the symptoms of an asthma attack - usually about two to three days prior. If the meter indicates the peak flow is down by 20 percent or more from your usual best effort, an asthma attack is on the way. The third step in managing asthma involves the use of medications. There are two major groups of medications used in controlling asthma - anti-inflammatories (corticosteroids) and bronchodilators.

C.8 Simulation d'une discussion sur l'obésité

Liliane: Well, we are bring together today for a small conference on obesity because according to the World Health Organization, there are more than 300 million obese adults and 1.1 billion overweight people worldwide. And this number continues to rise. A similar pattern is apparent in the US. According to an article in the October 2002 issue of JAMA, more than 64% of American adults are overweight and more than 30% are obese. (Overweight and obese are defined as a body mass index (BMI) greater than or equal to 25 and 30, respectively.) Further, the number of American children who are overweight also continues to rise. Among Americans between the ages of 6 to 19, approximately 15% are overweight as of 1999-2000—or triple what the percentage was from 1980. (Overweight among children is based on BMI-for-age growth charts.) A combination of genetic factors, poor eating habits, and low activity levels accounts for the vast majority of the overweight and obesity in the United States.

Claire: Yeah, Obesity is defined as an abnormally high proportion of body fat. Obesity occurs when calorie intake is consistently greater than the number of calories burned through activity and basic metabolic processes. Several factors can influence obesity, including genetic tendency, Eating habits, Activity level, Biologic factors (such as the amount and activity of certain chemicals in the body), Medications (such as corticosteroids, antidepressants, and antipsychotics), underactive thyroid gland, Cushing's disease, Polycystic ovary syndrome, Fröhlich's syndrome, Prader-Willi syndrome, Laurence-Moon-Biedl syndrome

Monique: Obesity can lead to other health problems, such as Decreased energy, High blood pressure, Heart disease and stroke, Type 2 diabetes, Gallstones, Worsening arthritis symptoms, Increased risk of certain cancers, Blood clots, Skin breakdown and infections, Gout, Infertility, Sleep apnea, Poor self-image, depression.

Virginie: And risk factors are very high because they include: Poor Diet (If you eat high-calorie, low-nutrient foods, you are likely to eat more calories than your burn each day, thus increasing your risk of becoming obese), Lack of Physical Activity (If you don't get enough physical activity (exercise), you are likely to burn fewer calories than you eat each day, thus increasing your risk of becoming obese), Working Varied Shifts (Working shifts at different times of the day and night increases your risk of becoming obese), Medical Conditions and Medications (Certain medications, rare hereditary diseases, and hormonal imbalances (such as hypothyroid and Cushing's disease) increase your risk of obesity), Quitting smoking (When you stop smoking your weight may temporarily increase. However, this tendency may be overcome by reducing calorie consumption and increasing physical activity. Overall, the health benefits of quitting smoking far exceed the risk of gaining weight), Age (the incidence of obesity more than doubles between the ages of 20 and 55. However, this may be related to a decrease in activity levels), Genetic Factors (Specific, rare hereditary diseases may increase the risk of obesity. In addition, there seems to be a general tendency for obesity to run in some families, though the reason for this is not well understood), Race (There is a higher incidence of obesity among certain races or ethnic groups. In the United States, obesity affects 66% of middle-aged black women and 68% of Mexican American women, compared with 45% of white women).

Liliane: The onset of obesity is usually gradual. Symptoms include Increased weight, Thickness around the midsection, Obvious areas of fat deposits. It's important to remember that fat deposited in your midsection is as much of a health risk as increasing total

body weight. If you are developing a thick midsection even though your weight is not going up, you may be replacing unused muscle mass with dangerous fat accumulation in your abdomen. This may place you at increased risk for heart (cardiovascular) disease.

Claire : I think that obesity is difficult to treat, and success rates are not high. Cultural factors, personal habits, lifestyle, and genetics all affect obesity treatment. The treatment and management of obesity involves major lifestyle changes related to your grocery shopping, eating, and exercise habits. Medications play only a small supplementary role, and surgery is limited to people with morbid obesity or those who have life-threatening complications. The goal of treatment is to reduce your weight to a point where it is no longer a risk to your health. While that is happening, measures to preserve your health and prevent the onset of medical complications may also be recommended.

Monique : Yes. People must change their life style: Managing obesity is mostly about making lifestyle changes, which may be easier said than done. To maintain their weight they must burn the same amount of calories they take in when they eat. To lose weight they have to burn more calories than they take in. While it's true that their body burns calories just doing the normal metabolic functions that keep them alive, it burns many more calories when they're active. But their body is a very efficient engine, so it takes a lot more time and energy to burn calories than it does to take them in. Talk with their health care provider to determine a healthful weight for them, and to design an exercise and eating program. Ask for a referral to a registered dietitian and/or an athletic trainer for more personalized help. Managing Their Diet Recommendations for a healthful diet change periodically as research evolves-and fads come and go. The safest and most effective way to lose weight is by exercising regularly and eating a healthful diet. Current dietary recommendations are based on the food pyramid developed by the U.S. Department of Agriculture. Exercise Regularly. Exercise burns calories, takes their mind off eating, and helps prevent a number of medical conditions. Regardless of their weight and health status, there is an exercise program that will work for them. Ask their health care provider about which type of exercise program will be safe and beneficial for them. Studies show that exercise promotes weight loss, and exercise is necessary to prevent weight gain after they have lost weight. But, I disagree with surgery.

Virginie : Why? Gastrointestinal surgery is sometimes performed on people who are severely obese and cannot lose weight by traditional means or who suffer from serious obesity-related health problems. The surgery promotes weight loss by restricting food intake or by interrupting the digestive process. But even after surgery, the best long-term results are achieved by eating appropriately and participating in a regular physical activity program. A thorough evaluation, particularly of nutritional status, will precede any discussion of obesity surgery. An additional requirement is that people will have made multiple attempts to lose weight by non-surgical means. Before deciding if surgery is the right option for them, they will probably meet with a dietitian who will help them prepare for the dramatic change in their eating habits that will occur after surgery. They will learn how to balance sound nutrition with smaller portions, because after surgery, they won't be able to eat very much at each sitting.

Monique : Yes, maybe, but I'm sceptic...

Annexe D

Exemple d'échanges lors de l'apprentissage d'un nouveau concept

D.1 Apprentissage du concept « Artery »

Afin de donner, au lecteur, un exemple du type d'échanges que nous pouvons trouver entre un apprenant et un participant lors de la demande de signification d'un nouveau concept, nous avons repris la simulation d'un groupe de travail sur le cathétérisme cardiaque et plus particulièrement la demande de signification du concept « Artery » par notre apprenant. Pour des raisons de lisibilité dans cette page, nous ne mettons pas la structure du message en entier (comme le nom de l'expéditeur, celui du destinataire, la langue) mais seulement le contenu qui circule entre nos deux agents, de façon très simplifiée (sans prendre en compte les définitions et relations au sein d'un concept).

Apprenant : What's an « artery »?

Michel : It's a « blood_vessel »

Apprenant : What's a « blood_vessel »?

Michel : It's a « vessel »

Apprenant : What's a « vessel »?

Michel : It's a « duct »

Apprenant : What's a « duct »?

Michel : It's an « anatomical_element »

Notre apprenant ayant dans son ontologie le concept « anatomical_element », il pourra enregistrer la signification d'une artère. Il aura ainsi appris non pas un nouveau concept (qui appartient au discours) mais trois.

Bien que nous soyons parfaitement conscients de la simplicité de cet exemple à ce niveau, ce cheminement de questions peut être beaucoup plus long si l'ontologie de l'apprenant ne contient, par exemple, que des concepts de haut niveau.

RESUME : L'apprentissage fait partie des expériences qui stimulent et structurent le savoir-faire individuel de tout être humain depuis sa naissance. Sa complexité et ses mystères suscitent l'intérêt de nombreuses recherches dans des disciplines aussi variées que les sciences sociales et l'informatique. En prenant conscience de cette diversité d'approche et des liens pluridisciplinaires qui en découlent, nous avons décidé de nous intéresser à cette problématique. L'objectif visé est de modéliser le comportement d'apprentissage par l'intermédiaire des systèmes multi-agents en intégrant des recherches issues des sciences sociales dans notre modèle. De ce fait, nous proposons une modélisation (baptisée ALONE) qui allie les spécificités théoriques des agents à la richesse des travaux socio-constructivistes sur l'importance du langage et des interactions lors du processus d'apprentissage humain. Notre contribution dans ce domaine est à la fois méthodologique et applicative.

MOTS-CLÉS : Apprentissage, Système multi-agents, Langage, Interactions, Confiance, Théorie socio-constructiviste, plate-forme multi-agents.

TITLE : Contribution of Social Sciences in Distributed Artificial Intelligence: ALONE, an hybrid model of a learning agent.

SUMMARY : Learning is an experience which stimulates individual knowledge in every human being, beginning at birth. Extensive research in different disciplines (such as social sciences and computer sciences) has focused on the complexities and mysteries of this type of learning. Taking into account this diversity of approach with its multidisciplinary links, we have decided to analyse this problem further. The main objective of our analysis is to model this learning using a multi-agent system and integrate the research of social sciences into this model. We have established a model (called ALONE) which combines the theoretical characteristics of an agent with the socio-constructivist theory underlining the importance of language and interactions during the human learning process. Our contribution in this field is methodological and applicative.

KEYWORDS : Learning, Multi-agent system, Language, Interactions, Trust, Socio-constructivist theory, Multi-agent framework.

COORDONNÉES DU LABORATOIRE :

Laboratoire d'Analyse des Systèmes de Santé (LASS)
Bâtiment du Doyen Jean Braconnier
43 boulevard du 11 Novembre 1918
69622 Villeurbanne Cedex