



HAL
open science

Vers un système de médiation pour les systèmes coopératifs

Alain-Jérôme Fougères

► **To cite this version:**

Alain-Jérôme Fougères. Vers un système de médiation pour les systèmes coopératifs. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Technologie de Compiègne, 2010. tel-00549060

HAL Id: tel-00549060

<https://theses.hal.science/tel-00549060>

Submitted on 21 Dec 2010

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.

Mémoire
D'Habilitation à diriger des Recherches
Spécialité : Informatique

Alain-Jérôme Fougères

Laboratoire M3M
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

**Vers un système de médiation pour les
systèmes coopératifs**

Habilitation soutenue le 21 juin 2010 devant le jury composé de :

Professeur	Jean-Paul Barthès	UTC	Rapporteur
Professeur	Alain Mille	Université de Lyon 1	Rapporteur
Professeur	Francis Rousseaux	Université de Reims	Rapporteur
Professeur	Danièle Boulanger	Université de Lyon 3	Examineur
Professeur	Philippe Trigano	UTC	Examineur
Professeur	Manuel Zacklad	CNAM	Directeur

Remerciements

Ce mémoire d'HDR recense un travail de douze années remplies d'échanges et de collaborations dans de nombreuses structures ; c'est donc tout naturellement à beaucoup de personnes auxquelles je pense aujourd'hui et pour lesquelles je prends un immense plaisir à présenter des remerciements :

A commencer par Manuel Zacklad pour m'avoir accompagné dans ce projet d'HDR et plus généralement pour avoir suivi mes travaux, pour m'avoir conseillé et fait confiance depuis de nombreuses années ; ce fût notamment le cas lors de l'encadrement de la thèse de Victoria Ospina.

Jean-Paul Barthès, Alain Mille et Francis Rousseaux, pour m'avoir fait l'honneur de rapporter ce mémoire d'HDR ; j'avoue avoir été impatient de recueillir leurs commentaires. Jean-Paul Barthès, de plus, avec qui, depuis que j'ai réalisé mon mémoire d'Ingénieur à deux pas de son bureau, je n'ai cessé de croiser le chemin ; c'est encore lui qui m'a assisté dans mes récentes démarches à l'UTC, et je lui en suis grandement reconnaissant.

Danielle Boulanger et Philippe Trigano, pour avoir accepté de participer au jury et pour toutes les remarques enrichissantes qu'ils m'ont faites. Merci à Philippe qui au-delà de la direction de ma thèse de doctorat est toujours resté disponible quand je l'ai sollicité.

Merci à Victoria Ospina et à Jing Peng, pour tous les fructueux échanges qui ont agrémenté l'encadrement de leurs thèses. Et merci aussi à tous les étudiants et élèves ingénieur du CNAM ou de l'UTBM que j'ai encadrés, auxquels j'ai accordé beaucoup d'attention et qui en échange m'ont beaucoup apporté en m'interrogeant sur mon propre travail.

Merci à tous les collègues et amis, qui lors de nos nombreux échanges, m'ont permis de structurer ou de clarifier des pensées parfois confuses ; ils sont nombreux, mais je pense tout particulièrement à Philippe Canalda qui a subi imperturbablement mes états d'âme du moment. Je remercie aussi chaleureusement les collègues du Laboratoire M3M, tout spécialement Jean-Pierre Micaëlli, Egon Ostrosi, Samuel Deniaud, Pierre-Alain Weite et Denis Choulier. Autant de chercheurs avec lesquels j'ai pris un immense plaisir à travailler.

Remerciements aussi aux directeurs de recherche qui par leur confiance, leurs conseils ou leur écoute, m'ont permis après ma thèse de poursuivre mes travaux dans les structures qu'ils dirigeaient : Jacques Siroux, Christian Michel, Jean-Jacques Clair, Matthieu Domaszewski, Michel Ferney et dernièrement François Spies.

Mes proches, bien sûr, qui ont eu l'indulgence et la générosité d'accepter mes préoccupations et mes absences durant ces dernières années. En franchissant cette étape c'est aussi à eux que je pense ... Merci de tout cœur.

CHAPITRE 1.	<i>Introduction au mémoire de recherche</i>	7
1.1.	Le TAL pour la conceptualisation	8
1.2.	Les connaissances dans des systèmes d'aide	9
1.3.	La communication entre agents logiciels	10
1.4.	L'instrumentation des activités coopératives	11
1.5.	La conception de systèmes de médiation	12
1.6.	Organisation du mémoire	13
CHAPITRE 2.	<i>La compréhension du langage naturel pour l'aide à la conception logicielle</i>	15
2.1.	Introduction	15
2.1.1.	Le traitement automatique du langage naturel	15
2.1.2.	Comment aider la conception logicielle à partir du langage courant ?	17
2.2.	Application : aide à la spécification formelle	18
2.2.1.	Présentation	18
2.2.2.	Description de l'application	19
2.3.	Application : aide à la conception objet et agent	22
2.3.1.	Présentation	22
2.3.2.	Description de l'application	23
2.4.	Conclusion	25
CHAPITRE 3.	<i>Des connaissances pour les systèmes d'aide ou coopératifs</i>	27
3.1.	Introduction	27
3.1.1.	L'ingénierie des connaissances	27
3.1.2.	Comment exploiter des connaissances dans les collecticiels ?	31
3.2.	Application : connaissances pour la formation de régulateurs	34
3.2.1.	Présentation	34
3.2.2.	Description de l'application	35
3.3.	Application : connaissances pour assister la gestion de projets	36
3.3.1.	Présentation	37
3.3.2.	Description de l'application	37
3.4.	Conclusion	40
CHAPITRE 4.	<i>La communication entre agents dans les systèmes complexes</i>	43
4.1.	Introduction	43
4.1.1.	Le paradigme agent	44
4.1.2.	La communication dans les systèmes logiciels complexes	48
4.1.3.	Comment gérer les interactions entre agents de systèmes complexes ?	50
4.2.	Application dans un système de simulation-détection d'épidémie	55
4.2.1.	Présentation	55
4.2.2.	Description de l'application	56
4.3.	Application pour un <i>Médiateur</i> intégré dans un atelier d'analyse fonctionnelle	58
4.3.1.	Présentation	58
4.3.2.	Description de l'application	58
4.4.	Conclusion	60

CHAPITRE 5.	<i>La coopération dans les systèmes d'aide et/ou coopératifs</i>	63
5.1.	Introduction	63
5.1.1.	La coopération et le CSCW	63
5.1.2.	Comment améliorer la conception de collecticiels ?	75
5.2.	Application : <i>iPédagogique</i> pour la gestion de projets d'étudiants	76
5.2.1.	Présentation	76
5.2.2.	Description de l'application	77
5.3.	Application : intégration de μ -outils d'évaluation de performance dans <i>PLACID</i>	79
5.3.1.	Présentation	79
5.3.2.	Description de l'application	81
5.4.	Conclusion	85
CHAPITRE 6.	<i>Un système de médiation pour les systèmes coopératifs</i>	87
6.1.	Introduction	87
6.1.1.	L'assistance dans les activités coopératives médiatisées	87
6.1.2.	Comment faciliter les activités coopératives médiatisées ?	89
6.2.	Le concept de système de médiation	91
6.2.1.	Présentation du concept	91
6.2.2.	Proposition d'un système de médiation pour faciliter la coopération	94
6.3.	Application : conception d'un <i>Médiateur</i> pour <i>iPédagogique</i>	98
6.3.1.	Présentation	98
6.3.2.	Description de l'application	99
6.4.	Application : conception d'un <i>Médiateur</i> pour l'atelier <i>MO-AFT</i>	103
6.4.1.	Présentation	103
6.4.2.	Description de l'application	103
6.5.	Conclusion	110
CHAPITRE 7.	<i>Bilan et perspectives</i>	113
7.1.	Bilan sur les thèmes TAL et connaissances	113
7.2.	Bilan sur le thème communication entre agents	116
7.3.	Bilan sur le thème coopération dans les systèmes d'aide ou coopératifs	120
7.4.	Bilan sur le thème conception de système de médiation	123
7.5.	Conclusion	124
CHAPITRE 8.	<i>Références</i>	127
CHAPITRE 9.	<i>Annexe : rapport d'activité</i>	145
9.1.	Thématiques et équipes de recherche	145
9.2.	Activités scientifiques	146
9.2.1.	Encadrements	146
9.2.2.	Animation	147
9.2.3.	Contrats et collaborations extérieures	149
9.3.	Activités pédagogiques	150
9.4.	Activités administratives	151
9.5.	Liste de publications	151

« Dans une fêrulle creuse, j'ai emporté furtive, la source de feu qui brille pour les hommes, maîtresse de tous les arts et grande ressource. »

Eschyle¹

CHAPITRE 1. INTRODUCTION AU MEMOIRE DE RECHERCHE

Ce document de synthèse décrit les travaux de recherche que nous avons effectués ces douze dernières années, depuis la soutenance de notre thèse le 13 mai 1997. En premier lieu, nous évoquerons la pluridisciplinarité de nos recherches ; pluridisciplinarité induite par une véritable mobilité thématique. Cette approche pluridisciplinaire constitue un atout pour notre projet de recherche, puisqu'elle est bien souvent nécessaire pour assurer une direction de recherches.

Les travaux de recherches exposés dans ce mémoire se déclinent sur quatre thèmes distincts, reliés par une problématique commune d'assistance à l'utilisateur :

- des travaux portant un point de vue « traitement du langage » : la compréhension de courts textes techniques pour l'assistance aux activités de spécification et de conception de logiciels, conduisant à une traduction formelle ou diagrammatique de type UML ;
- des travaux portant un point de vue « traitement de connaissances » : l'acquisition, la modélisation et le traitement des connaissances invoquées dans les systèmes pédagogiques, d'aide à la décision, ou de médiation pour la coopération ;
- des travaux portant un point de vue « communication/coopération » : les interactions entre agents logiciels distribués dans des systèmes de simulation, d'aide à la décision ou de conception collaborative ;
- des travaux portant un point de vue « coopération et instrumentation d'activités coopératives » : l'analyse, la modélisation et l'instrumentation d'activités coopératives, ainsi que la conception participative de micro-outils logiciels (μ -outils) et leur intégration sur une plate-forme logicielle distribuée.

La convergence de ces travaux s'opère avec les recherches menées depuis cinq ans sur la conception de systèmes de médiation pour faciliter la coopération entre utilisateurs de systèmes d'information coopératifs ou de collecticiels. Au-delà de la problématique de conception de systèmes coopératifs, nous nous sommes en effet posé deux sortes de questions : (1) « *comment mieux médier la coopération et comment faciliter les communications dans cette coopération médiée ?* », c'est le cœur du travail de thèse de Victoria Ospina ([2007](#)) ; (2) « *comment mieux partager l'information dans les systèmes coopératifs et comment évaluer la pertinence de l'information avant de la partager ?* », c'est le cadre de la thèse que nous avons proposée à Jing Peng ([Peng et al., 2010a](#)).

Aussi nous présenterons succinctement dans ce chapitre les travaux réalisés sur chacun de ces thèmes, en précisant les perspectives s'ouvrant sur la conception de système de médiation ; conception qui sera discutée au chapitre 6. D'autre part, comme les projets réalisés

¹ Eschyle, *Prométhée enchaîné*, Editions Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, 1967.

sur ces thèmes ont tous fait l'objet d'encadrements d'étudiants², éléments caractéristiques d'une HDR par ailleurs, nous les citerons systématiquement dans les sections thématiques de ce chapitre.

Cette introduction, faisant état de la pluridisciplinarité de nos recherches (figure 1.a), conduira ainsi à la proposition d'une conception de systèmes de médiation pour faciliter la coopération entre des acteurs engagés dans une activité coopérative instrumentée par un système coopératif. Cette médiation n'est envisageable qu'à partir de l'étude de la communication, de la coopération et des connaissances médiatisées par le système coopératif considéré.

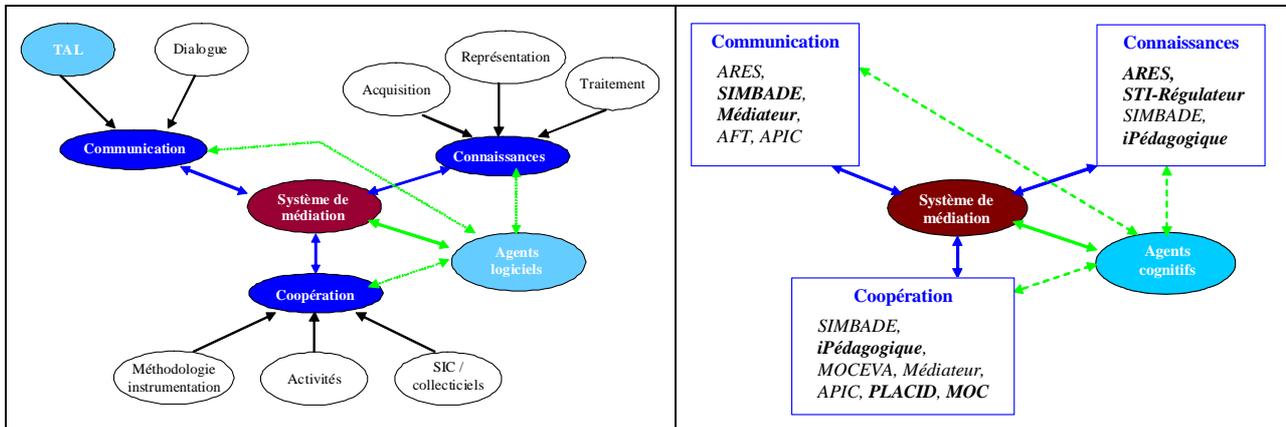


Figure 1. a) Le réseau de connaissances (mots clés) des domaines concernés par nos recherches ; b) la cartographie des projets menés sur l'ensemble des thématiques

Pour expérimenter ou appliquer ces recherches pluridisciplinaires, un certain nombre de projets ont été menés (figure 1.b). Nous les classons globalement de la façon suivante :

- la conception de systèmes d'assistance (*ARES*, *STI_Régulateur*, *iPédagogique*), comme application des quatre points de vue considérés sur l'assistance (langage, connaissances, communication et coopération) ;
- la conception de systèmes coopératifs à base d'agents (*SIMBADE*, *APIC*) ou à base de μ -outils (*PLACID*, *MOCEVA* et *MO-TRIZ*), comme application des recherches sur la coopération ;
- de plus, l'évolution de nos recherches vers la notion de système de médiation de coopération (dans le sens assistance à la coopération instrumentée, peu intrusive dans l'activité) a conduit à la conception de deux systèmes : l'un intégré dans l'environnement *iPédagogique* et l'autre intégré dans l'atelier *MO-AFT*.

1.1. Le TAL pour la conceptualisation

La problématique est ici la compréhension automatique de textes de spécifications techniques : comment aider la conception logicielle à partir du langage courant ? Application à l'aide à la spécification de logiciels et à la conceptualisation de μ -outils.

Dans ce domaine, nos travaux concernent plus particulièrement l'application du traitement du langage naturel (TAL) à la compréhension de textes courts techniques dans le but d'assister la

² Thèses ; mémoires de DEA, de DESS, d'Ingénieur CNAM, de fin d'étude d'Ingénieur UTBM ; projets UTBM de TX (travaux de laboratoire d'une durée d'un semestre, réalisés par un ou deux étudiants), d'IR (Initiation à la recherche – recherche bibliographique, d'une durée d'un semestre et proposée à un seul étudiant) et d'UV (notamment d'« Intelligence artificielle »).

spécification de logiciels ou la conceptualisation d'outils logiciels innovants. Ces travaux se sont déroulés sur la période 1993-99, puis ponctuellement depuis 1999 :

- la continuité de nos travaux de thèse sur l'introduction du TAL dans des outils d'aide pour le génie logiciel, avec le projet *ARES* (Aide à la REdaction de Spécifications) ([Fougères et Trigano, 1999](#)) qui propose un processus de formalisation composé de quatre phases : une étude terminologique, la phase de traitement du langage naturel (lexical, syntaxique, sémantique), une représentation sous forme de graphes conceptuels (GC) ([Sowa, 1984](#)), puis la traduction en langage Z ([Spivey, 1992](#)) ;
- l'aide à la conception en UML (projet mené sur la période 2003-06, servant de cadre d'applications pour des projets d'une UV d'Intelligence Artificielle de l'UTBM) ([Fougères, 2004a](#)) ; ce projet propose une conception plus « naturelle » nécessitant la compréhension de phrases actanciennes simples et une représentation diagrammatique de type UML (diagrammes de classes, d'activité et de séquence) distinguant les objets des agents ;
- l'aide à la conceptualisation de μ -outils, phase amont du processus d'instrumentation d'activités coopératives, éventuellement non encore instrumentées (projet mené sur la période 2005-07, en collaboration avec Caroline Lévy, Damien Doiselet et Eric Zaremba dans le cadre de leurs projets de TX) ([Fougères, 2006](#)) ; cette aide à l'instrumentation d'activité consiste : (1) en une compréhension de phrases actanciennes simples décrivant l'activité cible, et (2) en une représentation graphique de type SADT³, servant de base à l'identification de μ -outils logiciels à concevoir pour instrumenter cette activité.

Notre programme de recherche sur ce thème est défini pour apporter une aide à la spécification et à la conception de logiciels, en traduisant les textes de descriptions formulées en langage naturel, sous la forme de diagrammes semi-formels (UML, SADT) ou formel (Schéma Z, diagramme d'états) ; ceci, dans un contexte de développement participatif (l'informaticien, les experts du domaine et les futurs utilisateurs). Ceci peut être réalisé par un processus de compréhension et de représentation sémantique de textes descriptifs, en faisant appel à des connaissances linguistiques et conceptuelles préalablement acquises (travail sur des domaines spécifiques déjà conceptualisés). La perspective étant davantage une aide interactive à l'élaboration de la conceptualisation que la conceptualisation automatique.

1.2. Les connaissances dans des systèmes d'aide

La problématique est ici la modélisation des connaissances nécessaires pour une assistance à l'utilisateur de systèmes coopératifs : comment exploiter des connaissances dans des collecticiels ? Application à des systèmes à base de connaissances pour la formation, pour l'aide à la décision et pour la médiation coopérative.

Pour Teulier et al. ([2005](#)) « *L'ingénierie des connaissances vise à proposer des concepts, méthodes et techniques permettant de modéliser, de formaliser d'acquérir des connaissances dans les organisations dans un but d'opérationnalisation, de structuration ou de gestion au sens large* ». L'objectif consiste alors à concevoir des systèmes à base de connaissances (SBC⁴) susceptibles d'assister les acteurs de ces organisations, ce qui conduit à considérer un large spectre de traitements sur les connaissances : acquisition, représentation, mémorisation et remémoration, opérations, transformations et inférences. Dans ce vaste champ de

³ *Structured Analysis and Design Techniques* (Ross, 1977). La norme IDEF1, élaborée par l'armée de l'air américaine, a standardisé le formalisme SADT. La méthode SADT est souvent présentée comme un « langage pour communiquer des idées » ; elle est donc bien adaptée aux activités pluridisciplinaires.

⁴ Nous utiliserons le terme « SBC », plutôt que le terme « SE » (Systèmes experts, ou système à base de règles), suivant ainsi les recommandations de Visetti (1991) : « *Le terme de système expert doit être abandonné [...] il faisait espérer des qualités qui sont hors de portée de ces systèmes, comme celle de se substituer véritablement à l'expert, au décideur responsable qu'ils caricaturent* ».

problématiques, nos travaux concernent la représentation (graphes conceptuels, frames, règles de production, mémoire de cas) et le traitement de connaissances, pour et dans des systèmes qui, depuis notre thèse, n'ont cessé de devenir de plus en plus coopératifs :

- Le Projet *STI_Régulateur*, mené sur la période 2000-02 avec la participation de Rachel Coin et Laurianne Sitbon, étudiantes de l'UTBM encadrées dans le cadre de leurs projets de TX. Il s'agit dans ce projet d'acquérir et de représenter des connaissances pour un système de formation de régulateurs de trafic ([Fougères, 2001](#)).
- Le projet *iPédagogique*, mené sur la période 2000-06 avec la participation de Victoria Ospina, lors de son stage de DEA ([2003](#)), ainsi que celle d'étudiants de l'UTBM : Mathieu Taberlet, pour son stage de mi-parcours d'Ingénieur UTBM, Aurélie Sidot et Vincent Leprince, dans le cadre de leurs projets TX. Il s'agit ici de connaissances pour un système d'assistance à la gestion et au suivi de projets d'étudiants (acquisition, représentation, mémorisation et remémoration, partage, inférences). Le système *iPédagogique* a été utilisé pendant 5 ans dans le cadre de trois UV du département Génie Informatique. Les principales caractéristiques de la plate-forme *iPédagogique* sont détaillées dans ([Fougères et Canalda, 2002](#) ; [Fougères et Ospina, 2004](#) ; [Fougères et al., 2007](#)).
- Le projet *SIMBADE* (SIMulation à Base d'Agents et Détection d'Epidémie), mené sur la période 2000-03, en collaboration avec l'antenne INVS de Belfort, et avec des étudiants de l'UTBM en projets d'UV « Systèmes à Base de Connaissances » et de TX. Il s'agit ici de connaissances épidémiologiques pour un système de simulation et de détection d'épidémie (acquisition, représentation, inférences). Le système *SIMBADE*, nous a permis par ailleurs de valider la modélisation d'agents cognitifs communicants ([Fougères, 2003a](#)).
- Le projet *Médiateur*, mené sur la période 2004-08, dans le cadre de la thèse de Victoria Ospina. Deux phases d'expérimentation ont été réalisées : la première pour l'environnement *iPédagogique* ([Ospina et al., 2005](#), [Fougères et al., 2007](#)), la seconde pour l'atelier coopératif d'analyse fonctionnelle technique *MO-AFT* ([Ospina et Fougères, 2009](#)). Il s'agit ici des connaissances coopératives pour un système de médiation (acquisition, représentation, partage, inférences).

Notre programme de recherche sur ce thème est défini pour utiliser des connaissances acquises ou mises à jour lors d'activités coopératives instrumentées, notamment l'utilisation des traces d'activité mémorisées pour faciliter la réalisation des phases finales ou de synthèse d'une activité (évaluation, validation ou rédaction de compte rendu). Ce programme s'accompagne, bien évidemment, d'une veille sur les propositions et les avancées réalisées en ingénierie des connaissances, dans la perspective des projets de conception de systèmes coopératifs à venir.

1.3. La communication entre agents logiciels

La problématique est ici la communication homme-machine à base d'agents (semi-naturelle [Homme-Machine] ou artificielle [Machine-Machine]) : comment gérer les interactions entre agents de systèmes complexes ? Application représentative dans un système de simulation et de détection d'épidémies, dans un système de médiation intégré dans un atelier d'analyse fonctionnelle technique, et pour la communication entre μ -outils coopératifs.

Nos travaux sur la problématique de la communication entre agents (logiciels et humains) portent sur deux types de systèmes : des systèmes logiciels complexes (distribués et/ou interactifs) et des systèmes coopératifs à base de μ -outils. Deux niveaux d'interaction communicationnelle sont considérés : (1) la communication entre agents logiciels dans les systèmes coopératifs et d'assistance, et (2) la communication médiatisée entre les acteurs eux-mêmes. Ces travaux ont été menés principalement dans le cadre de trois projets :

- Le projet *SIMBADE*, déjà mentionné, et les nombreux travaux de modélisation de la communication entre agents qui lui sont associés (projet mené sur la période 2000-03, en collaboration avec Zoé Drey, Issam Sabir, Pierre-Henri Manderscheid, Sébastien Piot, Jérémie Boutard, Patrick Fromont, Ghislaine Foltete, Cyril Marmier et Richard Rojda, dans le cadre de leurs projets de TX). Il s'agit ici de la communication (dialogue) entre agents d'un système de simulation et de détection d'épidémie ([Fougères, 2003](#)).
- Le projet « Développement de μ -outils logiciels », mené sur la période 2003-08, a été le cadre de réalisation de trois mémoires d'Ingénieur CNAM, et de nombreux projets d'étudiants en projets de TX. Il s'agit ici de la communication entre μ -outils coopératifs ([Fougères et al., 2004](#) ; [Fougères, 2004b](#)). Un μ -outil est un logiciel adapté à la réalisation d'une tâche bien identifiée. Lors de la réalisation d'une séquence de tâches ou d'application d'une méthodologie, il est bien évidemment utile de faire communiquer ces μ -outils ([Micaëlli et Fougères, 2007](#) ; [Fougères, 2010](#)).
- Le projet d'intégration d'un Médiateur dans la plate-forme *MO-AFT* (Micro-Outils pour l'Analyse Fonctionnelle Technique), mené sur la période 2004-07 dans le cadre de la thèse de Victoria Ospina et du mémoire d'Ingénieur CNAM de Jean-Marie Clerc ([Ospina et Fougères, 2007](#) ; [Ospina et Fougères, 2009b](#)).
- Le projet *APIC* (*Agents for Product Integrated Configuration*) de développement d'une plate-forme agent de configuration de gammes de produits. Le développement de la plate-forme *APIC* a été initié par David Nicoud et Jérémie Saleur, élèves ingénieurs de l'UTBM, lors du semestre d'automne 2006, puis poursuivi dans le cadre du mémoire d'Ingénieur CNAM de Cédric Dufourg en 2009. La plate-forme supporte quatre communautés d'agents flous qui interagissent pour faire émerger une solution de configuration optimale ; ces interactions sont à la fois intracommunautaires et intercommunautaires ; les acteurs humains de la configuration (clients et métiers) interagissent avec *APIC* au moyen de μ -outils ([Ostrosi et al., 2008](#) ; [Ostrosi et Fougères, 2009](#)).

Notre programme de recherche sur ce thème est défini pour modéliser des situations d'interactions communicatives (homme-homme et homme-machine) dans les systèmes coopératifs (de conception par exemple), pour les analyser et pour améliorer la médiation coopérative apportée aux futurs utilisateurs.

1.4. L'instrumentation des activités coopératives

Nous considérons ici deux problématiques : (1) la coopération dans les systèmes coopératifs et les systèmes d'assistance, et (2) l'instrumentation des activités coopératives. Et par conséquent, comment améliorer la conception des systèmes coopératifs et des collecticiels ? Application à l'instrumentation des activités coopératives de gestion et de suivi de projets d'étudiants, au développement d'une plate-forme pour coopérer en conception distribuée. Une autre application représentative a pour objet l'instrumentation d'activités de co-conception avec les μ -outils de coopération.

Nos travaux dans le domaine de la coopération et des systèmes coopératifs portent sur la modélisation des interactions coopératives et sur l'instrumentation des activités coopératives. Ces travaux ont été initiés par le projet *iPédagogique*, puis se sont amplifiés avec le développement de projets dans le domaine de la « Conception Innovante et Distribuée » :

- Le projet *iPédagogique*, déjà présenté ci-dessus. Il s'agit cette fois de l'instrumentation des activités coopératives de gestion et de suivi de projets d'étudiants, réalisée par Victoria Ospina dans le cadre de ses travaux de thèse, par Mathieu Taberlet étudiant stagiaire ingénieur de l'UTBM, et poursuivie dans le cadre de projets de TX ([Fougères et Ospina, 2004](#) ; [Fougères et al., 2007](#)).

- Le projet *PLACID*, mené sur la période 2003-06 dans le cadre des mémoires d'Ingénieur CNAM de Max Recchione et d'Edmond Cordier, puis finalisé avec la participation de Christophe Membrives et Mickaël Presumey, étudiants de l'UTBM en projets de TX. L'objectif est ici la conception et le développement d'une plate-forme agent pour coopérer en conception distribuée ([Fougères et al., 2004](#) ; [Fougères, 2005](#) ; [Fougères, 2010](#)).
- Les projets de développement de *Micro-Outils de Coopération* (MOC), en partie financés par l'ANR, portent sur trois chantiers : *MOCEVA* (MOC pour l'EVALuation de performance), *APIC* (MOC pour la configuration de gammes de produits mécaniques) et *MO-TRIZ* (MOC pour la méthode TRIZ). Ces projets ont été menés sur la période 2005-07, avec la participation : (1) pour *MOCEVA*, de Guillaume Giroud, Jean-Michel Contet, Nicolas Laubert et Stéphane Doussot étudiants stagiaires ingénieurs de l'UTBM, de Reza Movahed-Khah en contrat Post-Doc (2006), de Didier Assossou en CDD (mai-juillet 2007), de Fabien Brisset et de Quentin Carpent en jobs d'été ([Fougères et Micaëlli, 2006](#) ; [Micaëlli et Fougères, 2007](#)) ; (2) pour *APIC*, d'Eugene Deciu en thèse dans notre laboratoire, de Cédric Dufourg stagiaire ingénieur CNAM durant l'année 2009, ainsi que des étudiants en projets de TX ([Deciu et al., 2006](#) ; [Ostrosi et Fougères, 2009](#)) ; (3) pour *MO-TRIZ*, de Thierry Chambon stagiaire ingénieur CNAM durant l'année 2008 ([Chambon et al., 2009](#)).
- Le projet *APIC*, déjà présenté ci-dessus, ouvre sur une problématique d'établissement de consensus dans l'activité coopérative et multi-métiers de configuration de produit. Les acteurs humains de la configuration, clients, concepteurs et métiers spécifiques (assemblage, fabrication, maintenance, ...), interagissent avec *APIC* au moyen de μ -outils, pour spécifier le produit ou apporter des contraintes sur la solution ([Ostrosi et al, 2009](#)).
- Le projet *ACCID* (*Aide à la Coopération en Conception Innovante et Distribuée*), pour lequel une collaboration avec l'UTT et l'UTC est envisagée. Ce projet porte sur l'observation des actes coopératifs de conception dans un environnement virtuel de conception collaborative, la modélisation de ces actes de conception et le développement d'outils d'aide. Le projet *ACCID* a été amorcé par un précédent projet portant sur l'analyse des interactions extraites d'un corpus de conception collaborative ([Fougères et al., 2006](#)).

Notre programme de recherche sur ce thème est défini pour proposer et développer des outils et des méthodes d'instrumentation et d'assistance pour des activités coopératives utilisant des μ -outils. Le processus d'instrumentation est partiellement maîtrisé, il s'agit maintenant d'affiner la méthodologie de développement participatif des μ -outils et de disposer d'outils d'aide.

1.5. La conception de systèmes de médiation

La problématique de la médiation coopérative est issue des précédentes : comment faciliter la coopération dans les activités coopératives médiatisées ? Application à un système de gestion et de suivi de projets d'étudiants et à un atelier coopératif d'analyse fonctionnelle.

Nos activités de recherche ont cheminé des domaines du langage, des connaissances, de la communication et de la coopération à celui de la médiation. Nous terminons donc avec le thème de la conception de systèmes de médiation adaptés au système coopératif.

Nos travaux sur le concept de système de médiation ont été amorcés par le sujet de mémoire de DEA proposé à Victoria Ospina ([2003](#)), puis se sont inscrits pleinement dans l'encadrement de son travail de thèse ([2007](#)). Le travail de DEA portait sur la réalisation d'un système de multi-assistance (SMAss) dans l'environnement *iPédagogique*, partant du principe que pour mieux maîtriser le développement d'un système d'assistance, il pouvait être utile de distribuer cette assistance sur l'ensemble des services offerts par l'environnement pédagogique. D'où le concept de multi-assistance. Par la suite nous nous sommes concentrés sur le service spécifique de coopération et donc le développement de l'assistance à la coopération, dans le but de faciliter les interactions coopératives et communicatives entre utilisateurs d'un système

coopératif. Nous en sommes venus à proposer un système de médiation pour la coopération, que nous appelons *Médiateur*. Ce *Médiateur* a été expérimenté dans deux systèmes coopératifs : *iPédagogique* dans un premier temps ([Ospina et Fougères, 2005](#)), puis l'atelier *MO-AFT* d'analyse fonctionnelle technique ([Ospina et Fougères, 2007](#) ; [Ospina et Fougères, 2009b](#)).

1.6. Organisation du mémoire

Le mémoire est structuré en sept chapitres. Le présent chapitre propose une présentation de ce mémoire : les objectifs du mémoire, le contexte des recherches et la structuration du mémoire. Les quatre chapitres suivants décrivent les travaux de recherches réalisés sur les quatre premiers thèmes présentés dans ce chapitre. Pour chacun de ces thèmes, nous procéderons à un état de l'art, nous formulerons une problématique bien spécifique, puis nous illustrerons nos résultats en présentant deux expérimentations ou projets de recherche. Ainsi nous développerons successivement :

- le thème « traitement du langage », portant sur l'utilisation du TAL pour l'aide à la spécification et à la conception de logiciels, dans le chapitre 2 ;
- le thème « connaissances », portant sur la modélisation et le traitement des connaissances pour des SBC de formation, d'aide à la décision ou de coopération, dans le chapitre 3 ;
- le thème « communication », portant sur les interactions entre agents logiciels dans des systèmes de simulation, d'aide à la décision ou de conception collaborative, dans le chapitre 4 ;
- le thème « coopération et instrumentation logicielle d'activités coopératives », portant sur la modélisation d'activités coopératives, la conception participative de μ -outils coopératifs et leur intégration sur des plates-formes dédiées (propositions méthodologiques et conception), dans le chapitre 5.

La convergence de ces travaux s'opère dans le chapitre 6, avec les recherches menées sur la conception de systèmes de médiation pour faciliter la coopération entre utilisateurs de systèmes coopératifs.

En guise de conclusion, le chapitre 7 proposera un bilan de nos travaux. Ce bilan reflète la démarche que nous suivons depuis douze ans, et expose le résultat de la convergence de notre faisceau de recherches. Des perspectives de recherche seront énoncées pour chacun des thèmes développés dans les chapitres 2, 3, 4, 5 et 6. Nous avons par ailleurs pris le parti de détailler une perspective spécifique à chaque thème, pour exposer les objectifs d'études et de projets déjà engagés, ainsi que les résultats attendus sur ces actions de recherche.

« Donnez à l'homme une organisation tout aussi grossière qu'il vous plaira : sans doute il acquerra moins d'idées ; mais pourvu seulement qu'il y ait entre lui et ses semblables quelque moyen de communication par lequel l'un puisse agir et l'autre sentir, ils parviendront à se communiquer enfin tout autant d'idées qu'ils en auront »

Jean-Jacques Rousseau⁵

CHAPITRE 2.

LA COMPREHENSION DU LANGAGE NATUREL POUR L'AIDE A LA CONCEPTION LOGICIELLE

Ce chapitre a pour thème central « la compréhension du langage naturel appliquée à l'assistance à la spécification et à la conception de logiciels ». Il est structuré en 4 sections. La première propose une brève présentation du traitement automatique du langage (TAL), suivie par l'exposé de la problématique de l'assistance à la compréhension de textes de conception logicielle, et s'achève par une caractérisation plus précise de ces textes de conception. Les deux sections suivantes présentent deux applications, inscrites dans cette problématique : (1) une application d'aide à la spécification formelle de services de télécommunication, initiée pendant notre thèse ; (2) une application d'aide à la modélisation de type UML, distinguant les composants logiciels agents ou objets, avec pour perspective une aide à la conception de micro-outils, à partir d'une expression de besoins. La dernière section propose une synthèse de ces recherches et l'énoncé de quelques perspectives pour nos travaux.

2.1. Introduction

2.1.1. Le traitement automatique du langage naturel

Selon Chomsky ([1969](#)) le langage possède trois propriétés fondamentales : il est *intentionnel* (intention de transmettre quelque chose à quelqu'un), *syntactique* (organisation, structure et cohérence de l'acte de langage) et *énonciatif* (transmission d'information). Même si l'ambition du TAL⁶ est de proposer des méthodes et des outils couvrant ces trois propriétés, les résultats les plus probants se concentrent à l'heure actuelle sur les deux dernières propriétés.

2.1.1.1. Les niveaux traditionnels d'analyse linguistique pour fondements

Il est habituel en informatique linguistique de considérer cinq niveaux pour la langue écrite : la morphologie, le lexique, la syntaxe, la sémantique et la pragmatique. On peut certes discuter de l'interdépendance de ces différents niveaux, mais nous considérons que cette stratification a le mérite d'être claire à exposer et qu'elle permet de présenter sans complexité les éléments de nature linguistique (*cf.* les 16 éditions de la conférence nationale annuelle TALN).

⁵ Jean-Jacques Rousseau, *Essai sur l'origine des langues*, œuvre posthume, 1781.

⁶ Nous considérerons ici essentiellement le TAL symbolique (à base de connaissances) ; pour des discussions sur les approches statistiques, la littérature est abondante (Antoine, 2003).

- La morphologie permet la reconnaissance des unités textuelles de base que sont les mots. La morphologie computationnelle doit alors proposer des procédures pour le repérage des mots (ou segmentation) et l'identification des termes selon leur forme canonique (ou lemmatisation). Dans l'analyse de textes écrits, le mot est la première unité linguistique à laquelle on peut facilement accéder suivant des critères formels de graphie ([Laporte, 2000](#)). Par la suite, les mots pourront être décomposés en unités significatives plus petites ou au contraire composés en unités significatives plus grandes (locutions). L'analyse lexicale se décompose alors en deux opérations : la segmentation et l'analyse morphologique.
- La syntaxe concerne l'étude de l'organisation des mots en groupes de mots (syntagmes) et des groupes de mots en phrase. Cette organisation syntaxique se traduit facilement sous la forme d'une structure syntagmatique ou d'un graphe de dépendances. Les stratégies d'analyse syntaxique, plus ou moins formelles ([Retoré, 2008](#)), sont très nombreuses : analyses en constituants, grammaires formelles (grammaires hors contexte, par exemple), étiquetage grammatical probabiliste, etc. ([Abeillé et Blache, 2000](#)).
- La sémantique concerne l'étude du sens des mots et des phrases. Elle consiste à établir les relations qui existent entre les phrases d'une part, les objets, les relations, les actions, les acteurs, les lieux, les modalités et les événements du monde d'autre part. Mais produire une bonne représentation de la phrase suppose aussi d'être capable de traiter un certain nombre de phénomènes présents dans toutes les langues (flexibilité sémantique) : les ambiguïtés, les paraphrases, les références, etc. On distingue deux approches : (1) la sémantique lexicale à base de primitives et de relations entre les éléments⁷ – notamment, les grammaires de cas de Fillmore ([1968](#)), les primitives d'action de Schank ([1972](#)), les archétypes cognitifs de Desclés ([1990](#)), les notions de prototypes et de modèles mentaux ; et (2) la sémantique grammaticale – la sémantique de Montaguë, la DRT ([Kamp, 1981](#)). L'ouvrage collectif ([Enjalbert, 2006](#)) propose une bonne synthèse sur le problème de la représentation du sens d'un mot, d'un énoncé ou d'un texte. Quant aux rapports entre sémantiques et traitements automatiques, ils sont amplement décrits dans ([Sabah, 2000](#)).
- La pragmatique s'intéresse aux effets de sens en contexte (situation de communication par exemple), ce qui se traduit par une relation entre une phrase *P*, un locuteur *L*, une situation d'énonciation *S* et une interprétation *I*. Parmi les théories et modèles proposés, les actes de langage/dialogue, les scripts, les plans, sont souvent invoqués ([Davis, 1991](#), [Sabah, 2000](#)).

2.1.1.2. Le TAL et la communication homme-machine

La communication homme-machine (CHM), longtemps concentrée sur la conception de systèmes de questions-réponses ([Over, 1999](#)), a évolué vers des systèmes gestionnaires de dialogue homme-machine ([Zue et al. 2000](#) ; [Lamel et al. 2000](#)), vers des systèmes conversationnels ([Allen et al., 2001](#)), vers l'instauration d'une interaction plus naturelle avec l'utilisateur à base d'agents rationnels ([Sadek, 2004](#)), et vers la détection des actes de dialogue entre humains ([Rosset et al. 2008](#)). Notons que la communauté TAL française est très investie dans ce domaine : le TAL pour les IHM et la CHM ([Sabah, 1997](#) ; [Boy, 2003](#) ; [Vilnat, 2005](#)), le TAL dans les interactions dialogiques ([Lemeunier, 2000](#) ; [Nicolle, 2006](#) ; [Luzzati, 2006](#)), le TAL pour les interactions entre et avec les agents ([Pesty, 2004](#)). Nous reviendrons sur le problème de la communication entre agents logiciels et humains dans le chapitre 4.

2.1.1.3. L'évolution du TAL

Selon Nazarenko ([2006](#)), trois problèmes ont émergé depuis la fin des années 90, conduisant à se poser la question du développement de plates-formes de TAL : (1) l'acquisition de ressources terminologiques ou ontologiques ; (2) le développement d'applications liées à la

⁷ Aristote proposait dix catégories (la substance, la quantité, la qualité, la relation, le lieu, le temps, la position, la possession, l'action et la passion). Leur interprétation permet d'énoncer les prédicats que l'on peut affirmer de l'être – genres suprêmes pour la classification de « tout ce qui est » et reflet des questions que l'on peut se poser : qui fait quoi ? Avec qui ? Quand ? Comment ? Où ? Etc.

compréhension de texte et à l'accès à l'information, à savoir : la recherche d'information, l'extraction d'information, les systèmes question-réponse et la synthèse de document ; et (3) la nécessité de construire des boîtes à outils de TAL pour l'étiquetage morpho-syntaxique, l'analyse syntaxique de surface, l'extraction terminologique, l'étiquetage sémantique ou la segmentation thématique (identification de fragments de documents).

2.1.1.4. *En guise de conclusion*

Les applications du TAL sont très variées ([Pierrel, 2000](#) ; [Sabah, 2006](#)) : la construction de ressources terminologiques, l'indexation et la recherche d'information, le dialogue homme-machine, la compréhension multilingue, les systèmes de questions-réponses, de résumé automatique, de génération de textes, de traduction, etc. Cependant, le TAL présente encore de sérieuses limites. La langue est d'une telle complexité qu'elle est difficile à manipuler, ce qui complique la tâche de compréhension pour une machine. Les ambiguïtés, les données implicites, la présence d'informations incomplètes en sont souvent la cause. De plus, il ne suffit pas de connaître et de maîtriser la grammaire et le sens des mots pour comprendre un texte, il faut aussi disposer d'un ensemble conséquent de connaissances contextuelles.

Comme nous venons de le présenter, le TAL renferme un champ de problèmes considérable. Parmi ceux-ci : les catégories de langages considérés (naturel, contraint, artificiel, formel), les limites des représentations sémantiques du langage naturel (ambiguïtés sémantiques ou structurelles), ou le point de vue arbitraire d'une représentation sémantique. Nos travaux depuis 1993 ont évolué dans cet ensemble de problèmes, tout en dégageant une problématique bien spécifique, à savoir l'utilisation du TAL pour la conception logicielle.

2.1.2. **Comment aider la conception logicielle à partir du langage courant ?**

Assister la conception logicielle à partir du langage naturel, revient à se poser un ensemble de questions, telles que : *Comment participer au processus de formalisation à partir de spécifications écrites en langage naturel ? Comment extraire les informations linguistiques contenues dans ces spécifications qui permettent d'élaborer des modèles formels ou diagrammatiques ?* Nous avons développé cette problématique pendant notre thèse, l'avons poursuivie avec le projet *ARES* (cf. §2.2), puis étendue, ces dernières années, à l'assistance à la conception logicielle (cf. §2.3). Les perspectives émergentes de ces travaux portent notamment sur l'aide à la conceptualisation de μ -outils (cf. §7.1). La conception de logiciel aidée par le TAL étant un thème de recherche développé depuis une vingtaine d'années ([Loomis, 1987](#) ; [Du, 2008](#)), le lecteur trouvera dans ([Fouche et Lepretre, 1991](#) ; [Toussaint, 1992](#) ; [Vadera et Meziane, 1994](#) ; [Biebow et al., 1996](#)) des approches, antérieures à la nôtre.

L'aide à la conception logicielle, la traduction de textes techniques sous forme de diagrammes semi-formels ou formels par exemple, peut être réalisée par un processus de compréhension et de représentation sémantique de ces textes, utilisant des connaissances linguistiques et conceptuelles préalablement acquises (domaines spécifiques déjà conceptualisés). La perspective est ici davantage l'aide à l'élaboration de la conceptualisation que la conception automatique. Dans la suite, nous adoptons une approche résolument symbolique, c'est-à-dire guidée par l'hypothèse de représentations avec des formalismes de l'IA par analogie avec nos propres représentations mentales. Comprendre c'est construire des représentations formelles successives ([Richard, 2004](#)) plus ou moins dépendantes à partir d'un ensemble d'énoncés, ce que nous essayons de traduire dans nos traitements. Pour fonder nos travaux nous nous sommes appuyés sur un ensemble de caractéristiques de ces énoncés de spécification :

- Pour des raisons d'efficacité et de compréhension par leurs destinataires, ces textes sont le plus souvent concis, précis, cohérents et peu ambigus ; ceci traduit la volonté des rédacteurs de coopérer et d'être bien compris de leurs lecteurs, tout en maintenant la pertinence de leurs écrits ([Grice, 1975](#) ; [Sperber et Wilson, 1995](#) ; [Dessalles, 2008](#)).
- Ces textes sont essentiellement des descriptions de contextes, de situations, d'objets, d'actions ou d'événements. Pour les interpréter, il est possible d'utiliser des universaux

linguistiques, telles que les distinctions entre nom et verbe, entre objet et action ou relation ([Vernant, 2005](#)). Ghiglione et al. ([1985](#)) proposent, pour une analyse propositionnelle des discours, une typologie minimale de trois catégories verbales : les verbes statifs, factifs et déclaratifs. Quant à la caractérisation des objets, Pottier ([1987](#)) distingue cinq voix : l'existential, le situatif, l'équatif, le descriptif et le subjectif. Pour apporter une aide à la conception, nous cherchons principalement à identifier, puis à représenter les éléments de *structure*, de *fonction* et de *dynamique*, contenus dans les phrases des textes d'expression de besoins ([Vogel, 1991](#)). Les LFG et les grammaires de cas, qui permettent de déterminer la catégorie d'une proposition (action, événement, état) et les arguments du prédicat (agent, objet, source, etc.), sont bien adaptées pour ces traitements ([Fougères, 1997](#)).

- Les paliers du lexique et de la phrase ([Enjalbert et Victorri, 2006](#)), sont les paliers les plus significatifs pour les traitements linguistiques de ces textes courts, spécifiques et peu ambigus ; leur compréhension automatique est donc facilitée ([Nazarenko, 2004](#)), notamment par le calcul du sens des phrases à partir des mots (compositionnalité) et par utilisation d'un formalisme de représentation des connaissances issu de l'IA, permettant une représentation partielle des significations ([Enjalbert, 2006](#)).
- Selon Vygotski ([1978](#)) l'énonciation correspond à la traduction d'un langage intérieur (la pensée) vers un langage extérieur (le langage) : « *Si dans le langage extériorisé la pensée s'incarne dans la parole, la parole disparaît dans le langage intérieur, donnant naissance à la pensée* ». La compréhension procède de façon symétrique. Aussi, demander à un individu de décrire une activité dont il est expert, c'est lui demander de traduire en langage extérieur ce qu'il pense de cette activité. Pour faciliter la compréhension de cette description, il essaiera de traduire directement sa pensée dans un langage abrégé, caractérisé par une forme syntaxique simplifiée et des jugements purement prédicatifs. En effet, comprendre c'est conceptualiser ([Richard, 2004](#)).

2.2. Application : aide à la spécification formelle

Dans les années 90, la rédaction de spécifications techniques, écrites en langage naturel, représentait une activité considérable. Parallèlement, la nécessité de réduire les temps de développement de systèmes complexes, comme ceux des télécommunications, restait une priorité. Une condition pour atteindre cet objectif consistait à formaliser le maximum de spécifications produites. Nous avons donc démontré, dans notre thèse et dans les travaux qui ont suivi, la possibilité d'une certaine automatisation de la traduction de spécifications informelles en spécifications formelles, grâce à des méthodes et outils fiables, susceptibles d'assister un expert humain en spécification ([Fougères, 1997](#)).

2.2.1. Présentation

L'activité de spécification, notamment de services, produit des documents le plus souvent volumineux et rédigés en langage naturel. Est-il alors possible d'exploiter des procédures facilitant l'écriture de spécifications formelles ? Les spécifications contribuent à la qualité et à la fiabilité des services développés. Elles constituent le document de référence – consulté et exploité – de la phase de développement d'un service jusqu'à sa maintenance, en passant par sa validation. La maîtrise de l'étape de spécification fonctionnelle devient alors primordiale, puisqu'elle conditionne la réalisation du service. Toute démarche facilitant la rédaction de spécifications (textes plus ou moins normés) contribue à la réduction des temps inhérents à la réalisation de cette étape, comme des étapes suivantes.

La problématique étant énoncée, nous avons alors posé quatre hypothèses. Elles ont guidé notre approche et nous ont permis d'élaborer l'architecture d'un système de formalisation de spécifications ([Fougères et Trigano, 1997 ; 1999](#)) :

- *H1 : il n'est pas envisageable de traduire directement une spécification informelle en une spécification formelle.* Cette hypothèse est directement corrélée à la problématique de traduction d'un langage naturel en un langage formel. De plus, l'observation de l'activité de spécification corrobore cette hypothèse ; en effet, une spécification formelle s'élabore progressivement (par raffinement).
- *H2 : il est pertinent d'utiliser une représentation intermédiaire pour passer de l'informel au formel.* La notion de raffinement pour l'élaboration de spécifications formelles, n'est pas suffisamment définie, pour établir de façon univoque le nombre de pas de raffinement nécessaires pour une spécification donnée. Nous avons donc proposé de passer par une représentation intermédiaire sous forme de graphes conceptuels ([Sowa, 1984](#)), pivot de la formalisation. Cette proposition ne lève pas toutes les difficultés, elle permet cependant de mieux les caractériser – la complexité de la traduction d'une sémantique naturelle en une sémantique formelle demeure, mais elle se dédouble et devient plus facile à maîtriser.
- *H3 : la représentation formelle issue d'un traitement automatique est souvent trop proche du LN (sémantique littérale), il est nécessaire de la transformer au moyen de règles pour la rendre pertinente au niveau de la spécification formelle.* Cette quatrième hypothèse est apparue après une première série d'expérimentations. La formalisation proposée était assez éloignée de celle produite par les rédacteurs de spécifications. La raison principale de cette distance tenait dans la trop forte exploitation de relations thématiques (*agent, objet, etc.*) propres à représenter le sens des phrases mais beaucoup moins pertinentes pour des spécifications techniques.
- *H4 : la construction d'une description logique issue de la représentation intermédiaire peut servir de pivot pour la traduction vers différents langages de spécification formels.* Cette hypothèse est le résultat d'une constatation unanime chez les spécifieurs : un langage se prête rarement à la modélisation de la totalité d'une spécification. Ceci est à l'origine du paradigme de multi-spécification ([Paige, 1997](#)), consistant à utiliser, dans une même spécification, le langage le plus propice à fournir une description pour un module donné. Une fois la description logique produite, il est possible de traduire son contenu dans le langage formel cible – moyennant la disponibilité du traducteur adéquat.

2.2.2. Description de l'application

Pour limiter au maximum l'aspect informel des spécifications, les experts des années 90 définissaient souvent le cadre général de l'application à l'aide de langages de modélisation (Z, RdP, SADT, UML, etc.) et n'utilisaient qu'un langage naturel contraint pour les descriptions de plus bas niveau. Nous nous sommes alors donné pour objectif de définir un système d'aide à l'exploitation rationnelle de spécifications de systèmes en langage naturel, utilisant les ressources du formalisme des GC pour modéliser le contenu informationnel des spécifications. Nous avons proposé pour cela le processus de formalisation schématisé ci-dessous (figure 2.a), définissant un enchaînement de traitements sur les spécifications initiales, susceptibles de fournir une description formelle. Le séquençement des différentes étapes de ce processus, faisant suite à une étape préalable d'acquisition de connaissances, représente la mise en œuvre de notre objectif, pondéré par l'ensemble des hypothèses énoncées ci-dessus.

Nous avons expérimenté chacune des phases du processus précédent sur une spécification réelle, issue des *NEF*⁸. Cependant, par souci de clarté, nous illustrons les résultats obtenus, sur une spécification de « transmission de messages », plus élémentaire et de taille réduite.

⁸ *Normes d'Exploitation et de Fonctionnement des autocommutateurs (France Télécom)*, ensemble volumineux de documents volumineux de spécifications écrites en LN.

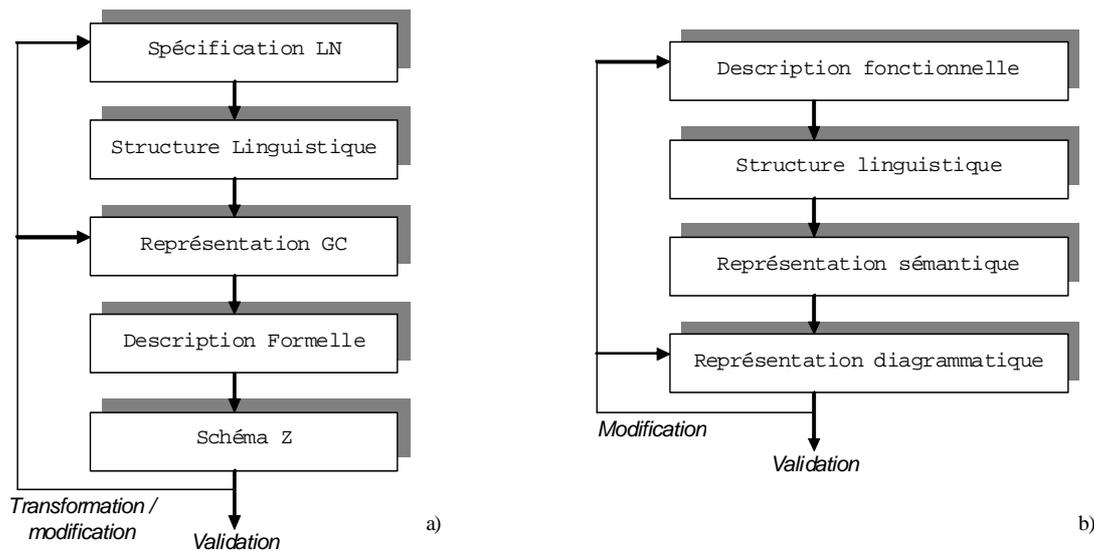


Figure 2. a) *Chaîne de traitements proposés pour la formalisation de spécifications, et b) processus de représentation diagrammatique pour l'aide à la conception*

2.2.2.1. L'étape préparatoire : analyse terminologique et acquisition des connaissances

Cette étape préalable, consiste en l'extraction d'informations lexicales contenues dans les spécifications, et en la détermination des liens privilégiés entre les mots ([Biebow et al., 1996](#)). Une étude de co-occurrence de mots, basée sur une analyse de proximité lexicale, permet aussi d'identifier les mots composés, les locutions, les relations prédicatives et les schémas de phrases propres au domaine. L'utilisation conjointe à l'analyse fréquentielle de techniques de filtrage statistique, telle que l'*information mutuelle* ([Church et Hovy, 1993](#)), permet d'augmenter la pertinence des résultats obtenus. Des outils de TAL sont apparus pour aider à construire des terminologies et acquérir des ontologies à partir de corpus ([Bourigault, 2000](#)).

La démarche d'acquisition des connaissances, consiste à extraire d'un dictionnaire numérique, des définitions de termes reconnus précédemment comme concepts, afin de les décrire dans un dictionnaire sémantique sous la forme de GC ([Hernert, 1993](#)). Le but du traitement est d'accroître la base de connaissances du domaine d'application en y intégrant des *informations sémantiques* issues d'un dictionnaire et ainsi d'élargir l'ontologie de notre modèle grâce à l'apport de définitions pour chaque concept. Une fois analysé le contenu d'une définition, il est alors possible de construire le GC correspondant et de l'inclure dans une *base canonique*.

2.2.2.2. Les représentations linguistiques

Nous avons déjà évoqué qu'il était habituel en linguistique écrite de considérer cinq niveaux d'analyse ; il en va de même dans nos travaux :

- *Le niveau morpho-lexicale*. Il s'agit à ce niveau de séquencer les phrases analysées afin d'obtenir une suite de *lexèmes*, après l'identification de mots simples, de mots composés et d'expressions figées. Nous avons utilisé pour cela un lexique apparenté au *DELAS* ([Courtois et Silberstein, 1990](#)) et un module d'analyse flexionnelle pour la description des formes fléchies (conjugaison, genre, nombre). Cette étape permet donc la reconnaissance des mots et leur distribution en catégories syntaxiques, telles que *nom, verbe, adjectif*.
- *Le niveau syntaxique*. Les stratégies d'analyse syntaxique sont très nombreuses : analyses en constituants, grammaires formelles, étiquetage grammatical probabiliste, etc. Nous avons retenu le formalisme LFG ([Kaplan et Bresnan, 1982](#)) pour nos travaux. Ce formalisme comprend trois niveaux : (1) la *c-structure* (analyse en constituant), décrite par des règles de productions d'une grammaire hors-contexte, représente les structures syntaxiques ; (2) la *f-structure* (description fonctionnelle), composée de paires « fonction-valeur », met en évidence les fonctions grammaticales (sujet, objet, etc.) – une fonction,

nommée *Pred*, met en correspondance les fonctions syntaxiques et les rôles sémantiques d'un prédicat ; et (3) la *s-structure* (structure sémantique), projection sémantique à partir de la *c-structure* qui permet de ne retenir que la structure prédictive. Les grammaires LFG ajoutent donc à la construction de la structure syntaxique, la formation d'une structure fonctionnelle de la phrase (analyse logique), spécifiée au moyen de schémas associés aux règles de grammaire. La validité de ces structures est régie par des principes généraux de bonne formation, qui permettent de rejeter certaines analyses syntaxiques incorrectes. La deuxième caractéristique du formalisme LFG est qu'il donne une place importante au lexique, en effectuant directement sur les interprétations des mots toutes les transformations pertinentes (passivation, forme pronominale de certains verbes, etc.).

- *Le niveau sémantique.* Le formalisme de représentation des connaissances sémantiques étant fixé, cette analyse consiste en la traduction sémantique de la structure syntaxique sous forme de GC⁹ (figure 3.a). Pour cela, nous procédons comme les grammaires de cas qui déterminent les différents rôles thématiques remplis par les constituants d'une phrase à l'aide des informations acquises sur l'ordre des mots, les prépositions, les verbes et le contexte. En d'autres termes, l'analyseur détermine la façon dont les syntagmes nominaux d'une phrase sont reliés aux verbes – le rôle sémantique spécifiant comment un objet participe à la description d'une action. Les sources d'informations activées pour les besoins de cette analyse sont : le lexique sémantique et la description fonctionnelle LFG.

2.2.2.3. La représentation des connaissances

Le problème fondamental de la *RepCo* est l'élaboration d'une notation suffisamment précise et formelle (cadre représentationnel) permettant cette représentation. Dans le modèle des GC les objets élémentaires sont les concepts et les relations (individus et relations), ce qui apparente le formalisme à la famille des réseaux sémantiques. Chaque proposition (fait) est représentée par un GC construit au moyen d'arcs dirigés reliant concepts et relations. Des règles offrant la possibilité de joindre ou de dissocier des GC (joints et projections) sont données. Une correspondance formelle (isomorphisme) avec la logique des prédicats du premier ordre est établie pour un noyau de base. Ainsi, le formalisme des GC est à la fois, un modèle assez « psychologique » dans sa forme, ce qui lui confère une grande lisibilité, et un système de preuves mathématiques ayant des fondements axiomatiques solides, ce qui le rend formel.

2.2.2.4. La traduction en langage Z

Le langage Z permet de spécifier un système en décrivant son état et les opérations qui le modifient. Pour cela, une spécification en Z est constituée par une séquence de paragraphes comportant des *schémas*, des *variables* et des *types de base*. Un schéma est constitué d'une *signature* (collection de variables typées) et d'une *propriété* sur cette signature, appelée partie prédictive. Pour établir la description formelle correspondante à une spécification informelle, nous avons procédé par analogie avec le mécanisme de construction déployé par un expert humain (figure 3.b). On commence par extraire les éléments de la description formelle, on identifie et on insère les éléments indispensables qui ne sont pas compris dans le module à spécifier, puis on établit les formules logiques (pré-conditions, post-conditions, propriétés) correspondant aux éléments collectés et à leurs liens. La phase finale est constituée par la modélisation en Z des GC construits à partir de la spécification informelle.

La figure 4.b illustre cette méthodologie : à partir du GC correspondant aux premières phrases de notre spécification de référence (« transmission de message ») nous dérivons un schéma Z. Les éléments algorithmiques de la traduction d'un GC en Z sont présentés dans ([Fougères, 1997](#)). On retiendra essentiellement les deux traitements opérés sur les concepts et les relations. Les concepts {*canal*, *emetteur*,...} sont traduits dans le modèle Z suivant leur référent respectif (individuel, générique ou variable), leur super-type dans le treillis des types de

⁹ D'autres méthodes de traduction du langage sous forme de GC ont été proposées ; nous pensons notamment au projet *KALIPSOS* ([Zweigenbaum et Bouaud, 1997](#)).

concepts permet d'établir une relation d'appartenance à un ensemble, conformément à la sémantique du langage Z. Les relations {AGNT, OBJ,...} sont traduites dans les parties déclarative et prédicative, en termes de définitions typées et relations d'appartenances.

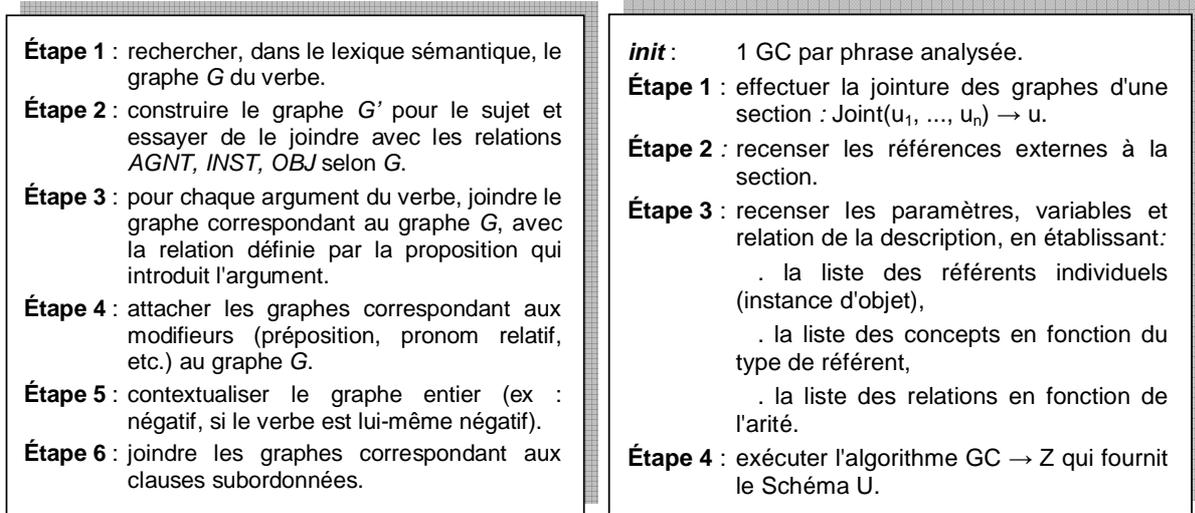


Figure 3. a) Construction de GC à partir de la structure fonctionnelle, et b) construction d'une description formelle à partir des GC d'une spécification

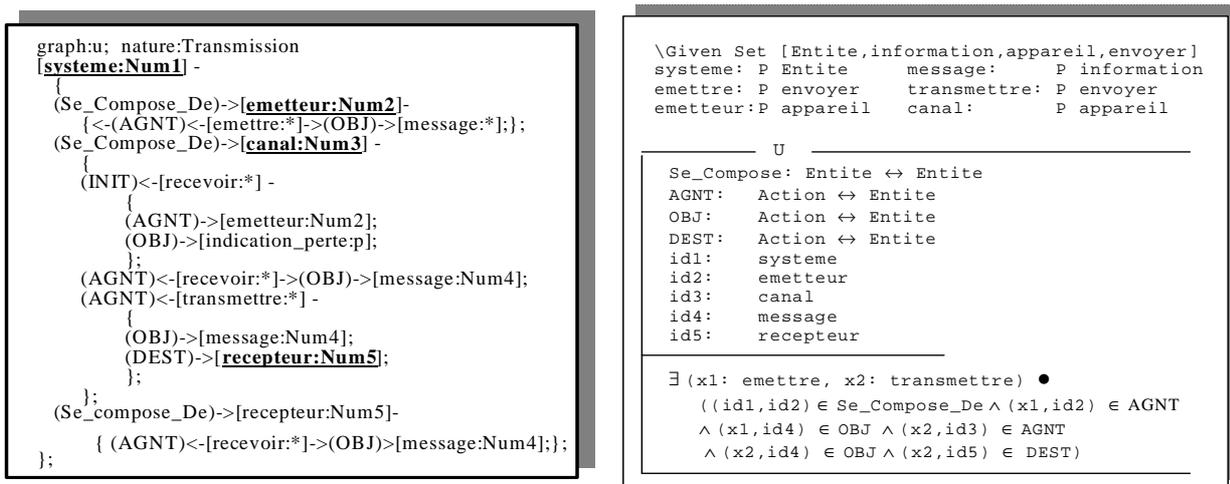


Figure 4. a) GC résultant de la jointure des GC traduisant les phrases de la « transmission de message » - les concepts liés aux jointures sont noircis, et b) le schéma Z résultat

2.3. Application : aide à la conception objet et agent

Pour cette deuxième application, la conception d'un atelier d'aide à la conception orientée objet et agent, utilisable en contexte pédagogique, nous exposons les éléments méthodologiques du processus de conception agent, semi-formel cette fois ([Fougères, 2004](#) ; [Fougères, 2006](#)). Cet atelier doit être considéré comme la proposition d'une assistance à la programmation orientée agent ([Jennings, 2000](#)), ou à la modélisation agent-objet ([Wagner, 2003](#)), dans laquelle une entité est soit un agent, un événement, une action, une relation ou un simple objet.

2.3.1. Présentation

Après avoir considéré l'aide à la spécification formelle, nous avons cherché à adapter nos propositions aux approches orientées agent, utilisées dans la conception de systèmes

coopératifs et distribués. Le contexte méthodologique de conception de ces systèmes sera discuté au chapitre 4. Nous cherchons ici à comprendre des textes de descriptions logicielles, puis à représenter leurs contenus (structurels, fonctionnels et dynamiques) sous la forme de diagrammes UML de classe (distinguant agents et objets), d'activité et de séquence. Les traitements pour cette application exploratoire sont volontairement restreints à des phrases simples < *sujet – verbe – compléments d'objet et/ou circonstanciels* >, limitant ainsi l'analyse à un seul contenu propositionnel. L'identification des éléments linguistiques traduisant des actions, des états, des rôles thématiques des agents ou des objets, en est facilitée.

Si l'on considère la trichotomie cognitive *statique/cinématique/dynamique*, comprendre un texte de spécification c'est repérer, puis traduire : (1) les situations statiques de localisation spatio-temporelle et de caractérisation des objets ; (2) les situations cinématiques de mouvements dans un espace ou de changements d'états attribués aux objets ; et (3) les situations dynamiques de mouvements ou de changements d'états exercés par une force externe. Desclés (1990) décline trois niveaux de représentations : les représentations cognitives engendrées à partir d'archétypes cognitifs¹⁰, les représentations conceptuelles organisées en prédicats et arguments, et les représentations linguistiques organisées à partir des schémas grammaticaux spécifiques à une langue. Énoncer une quelconque description revient, pour son auteur, à (figure 5) : (1) intégrer des archétypes cognitifs dans des schémas conceptuels prédictifs (structures prédictives : prédicats, arguments et/ou actants) ; puis (2) encoder ces structures prédictives dans des systèmes linguistiques particuliers sous forme de schémas grammaticaux spécifiques au langage utilisé (agencements de catégories lexicales telles que noms, verbes, prépositions, adjectifs, adverbes etc., en langue française par exemple). Desclés propose là un schéma de l'énonciation très proche de celui de Vygotski (1978).

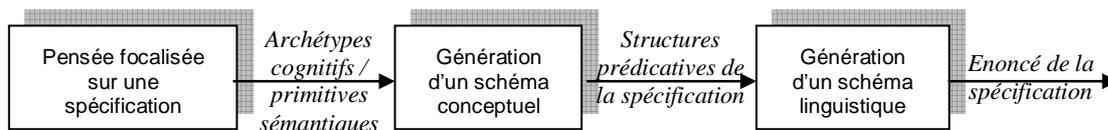


Figure 5. Schéma de référence pour l'énonciation, appliqué ici à la spécification

2.3.2. Description de l'application

Après avoir travaillé sur la conception objet de logiciels selon la méthode NIAM¹¹ (Habrias, 1993), nous nous sommes intéressés à la conception agent toujours à partir des textes de descriptions logicielles. Nous avons proposé un processus de représentation diagrammatique (proche du langage UML) de ces descriptions (figure 3.b). Ce processus d'analyse linguistique comprend deux phases principales : une acquisition des connaissances du domaine et une analyse linguistique, relativement conforme à celle exposée précédemment (cf. §2.2.2), à l'exception du niveau sémantique. Pour l'analyse sémantique, nous nous sommes appuyés sur les grammaires de cas. Ces dernières permettent de reconnaître les différents rôles thématiques remplis par les composants de la phrase, à l'aide des informations recueillies sur l'ordre des mots, les prépositions, les verbes et le contexte. L'analyseur détermine le sens que prennent les groupes nominaux d'une phrase par rapport aux verbes ; le rôle sémantique pouvant alors spécifier comment un objet participe à la description d'une action ou d'un état (Richard, 2004 ; Morand, 2004 ; Fougères, 2004). Ce processus d'analyse linguistique est entièrement orienté objets.

¹⁰ Les archétypes cognitifs sont indépendants des systèmes linguistiques. Ils décrivent les relations prototypiques établies entre des objets, des lieux et plus généralement des situations.

¹¹ *Nijssen Information Analysis Method*, méthode qui consiste à exprimer des spécifications avec des phrases simples, puis à en extraire les concepts et leurs relations (noms, verbes, adjectifs et adverbes, sont traduits respectivement en entités, relations, attributs d'entités et attributs de relations).

Le fonctionnement de l'analyseur syntactico-sémantique se distingue donc de celui présenté dans la première application : nous utilisons les grammaires de cas et la représentation obtenue nous permet de traduire directement une phrase sous forme d'objets, d'agents et de relations, sans passer par un GC comme modèle intermédiaire. L'analyseur sémantique est basé sur une analyse casuelle pour deux raisons (Delisle et al., 1996) : (1) cette approche réalise les analyses syntaxique, puis sémantique dans deux modules séparés, ce qui constitue un avantage du point de vue développement informatique ; (2) l'avantage induit par la mise en correspondance directe entre la forme syntaxique et les cas sémantiques. Ceci nous a amené à définir un ensemble de cas sémantiques ainsi qu'un ensemble de prototypes qui caractérisent la structure casuelle des verbes rencontrés dans les corpus. La représentation d'une phrase est composée d'une modalité et d'une proposition. La modalité comporte des informations sur la négation, l'interrogation, le temps et le mode du verbe, l'obligation, la possibilité, etc. La proposition résulte de l'identification du verbe et des relations sémantiques qui lient les groupes nominaux au verbe. Nous aboutissons à la fin de cette analyse à une représentation sémantique, intégrant le verbe et ses cas sémantiques (parfois prototypaux) instanciés par les éléments conceptuels correspondants. Dans le cadre d'une approche de conception agent, l'analyseur distingue effectivement les entités *agents* des entités *objets*.

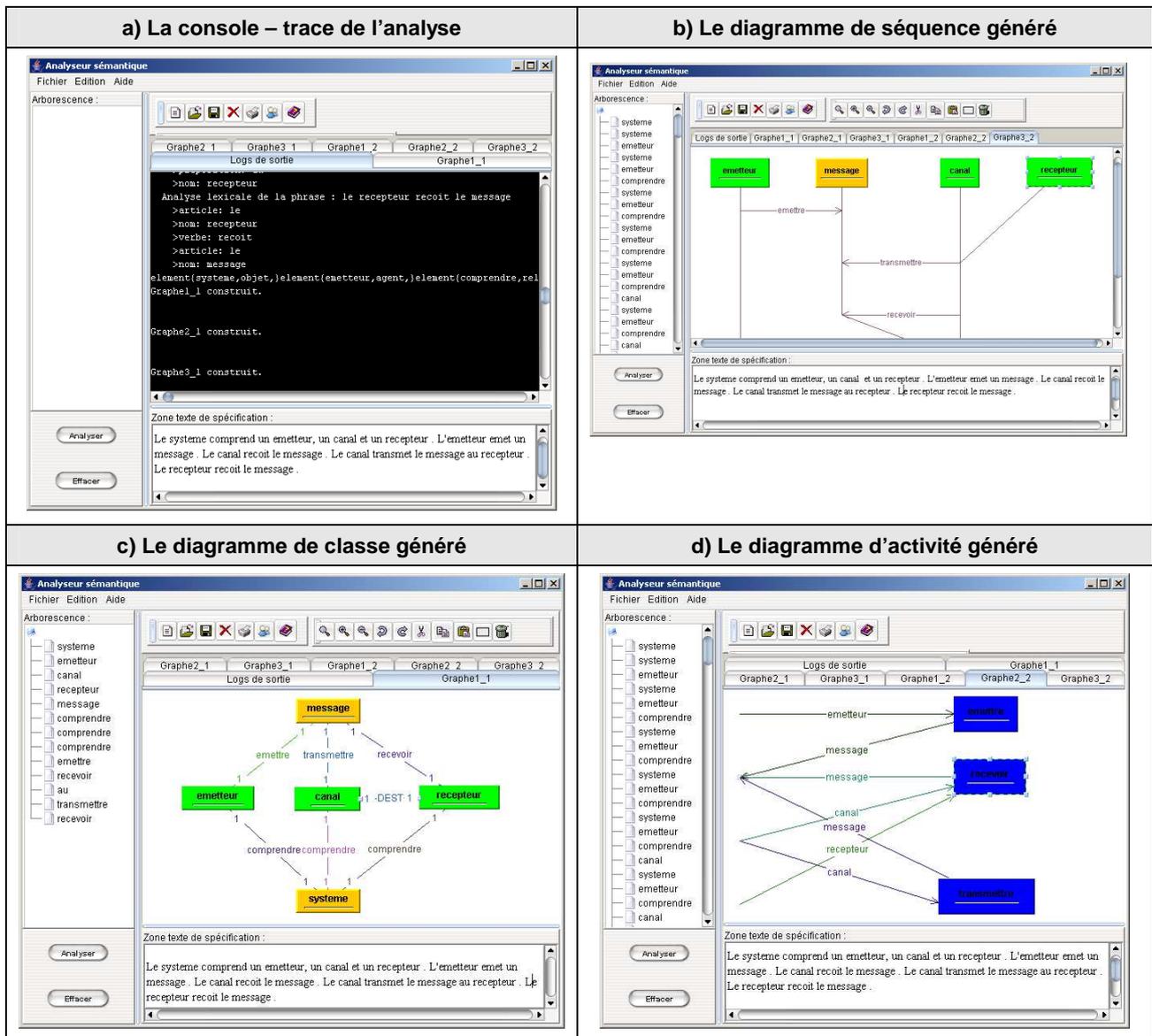


Figure 6. Illustrations de génération de diagrammes

L'analyse précédente a permis d'identifier les éléments nécessaires à l'édition des diagrammes UML de classe, de séquence et d'activité, correspondant à un texte de spécification. Bien évidemment ces diagrammes sont incomplets (figure 6), ils sont le résultat d'un premier pas de conception. Il s'agit pour nous maintenant de poursuivre ce travail pour proposer un véritable atelier de co-conception, où les multiples interactions entre le concepteur et l'atelier auront pour objectif d'accorder les intentions de l'un avec les connaissances de l'autre. Ceci réfère aux problèmes de la coopération que nous développerons dans le chapitre 5.

2.4. Conclusion

Ce chapitre a présenté un processus global de spécification à partir de textes informels rédigés en LN. Les perspectives de mise en oeuvre de cette démarche de formalisation nous ont conduit à établir quatre hypothèses. On retiendra plus particulièrement la seconde, qui postule l'utilisation d'une représentation intermédiaire pour passer d'une spécification informelle à sa description formelle. Nous avons identifié quatre niveaux de représentation d'une spécification : (1) le texte source écrit en LN, (2) la représentation contenant les structures linguistiques des phrases du texte, (3) la représentation sémantique sous forme de GC, et (4) la représentation finale dans un langage de description formelle tel que le langage Z. À partir de la première représentation en LN, nous avons pu définir un processus de formalisation dont les phases successives de traitement construisent les trois autres représentations de la spécification.

Un système, mettant en oeuvre ce processus de formalisation, peut se présenter comme une composante intelligente d'un atelier de développement logiciel. Il en constituerait le module d'élaboration des spécifications. Idéalement, l'entrée du système serait constituée par une spécification rédigée en langage naturel, et le système fournirait en sortie une spécification formelle, avec la coopération du rédacteur. Avant de satisfaire à cette perspective, il reste encore de nombreuses difficultés à résoudre : gérer les irrégularités sémantiques intrinsèques du langage naturel, retrouver la masse d'informations expertes dont il est fait abstraction dans les spécifications sources (informations implicites), et compenser la part irréductible du passage de l'informel au formel¹² ([Bachimont, 1996](#)). C'est pourquoi, il n'est pas question pour nous d'envisager le « spécifieur automatique » ([Balzer, 1985](#)), dans lequel on introduirait le titre d'une spécification et qui produirait des schémas formels dépourvus d'ambiguïtés. L'outil doit donc être conçu pour apporter une assistance à l'intelligence et à la créativité des spécifieurs¹³.

Dans des travaux plus récents nous avons partiellement réutilisé le processus précédent pour produire une modélisation semi-formelle en UML à partir de textes de cahier des charges. Bien que le processus ne soit pas complètement achevé pour cette application (construction de diagrammes UML pour une spécification rédigée dans un langage simplifié), il nous semble intéressant dès maintenant de poursuivre ce travail avec une couverture linguistique plus réaliste. Pour cela l'usage de ressources de TAL¹⁴ à la fois disponibles dans la communauté et bien plus riches que les nôtres, s'impose. Cependant, cette option de recherche ne lèvera pas les limites actuelles du TAL, une approche d'assistance coopérative reste donc à privilégier¹⁵. Par ailleurs, un travail approfondi, centré sur les relations (interactions) établies entre les

¹² Newell (1982) a souligné l'existence d'un niveau spécifique de la connaissance situé hors de tout système formel (le *knowledge level*), et d'un problème de transfert de cette connaissance informelle en une connaissance formelle (le *symbol level*).

¹³ Les environnements de développement (IDE) tel Eclipse, souvent utilisé en pédagogie, apportent déjà de l'aide aux développeurs : fonction de complétion, suggestions multiples, etc. La demande d'assistance pour la conception est évidente, mais les outils manquent ou sont trop sommaires (Morand, 2004).

¹⁴ Le site ELRA (European Language Resources Association), par exemple : <http://www.elra.info/>.

¹⁵ Ce qu'exprimait Jean Charlet dans L'ASTI-HEBDO n° 28 du 13/10/2003: « *Dans les années 1980, on développait des systèmes experts conçus comme des simulations de l'intelligence humaine. Maintenant, on essaie d'envisager quel type d'aide on peut proposer et comment elle va s'intégrer dans la pratique* ».

différents agents identifiés dans les textes, devrait nous permettre de produire le diagramme de collaboration UML associé, indispensable pour la conception d'un système à base d'agents.

Deux types de perspectives se dégagent des travaux rapportés dans ce chapitre : (1) des perspectives pour une aide interactive à la conceptualisation dans un contexte de développement participatif de logiciel ([Weng et al., 2007](#)) – contexte qui réunit des acteurs non exclusivement informaticiens ; et (2) des perspectives pour l'assistance et la médiation dans les collecticiels, en proposant un cadre d'interaction plus naturelle entre les systèmes et les utilisateurs. Nous les développerons dans le dernier chapitre de ce mémoire (*cf.* § 7.1).

« L'activité humaine appelée raisonnement est pour l'essentiel une analyse par fins-moyens, visant à découvrir une description de processus dont l'itinéraire conduise au but recherché »

Herbert Simon¹⁶

CHAPITRE 3.

DES CONNAISSANCES POUR LES SYSTEMES D'AIDE OU COOPERATIFS

Le thème central de ce chapitre est « la gestion et l'utilisation des connaissances dans les systèmes d'aide et dans les collecticiels », en particulier pour la médiation des activités coopératives. Ce thème est omni-présent dans nos travaux de recherche. Dans le chapitre précédent nous avons déjà fait mention des graphes conceptuels comme formalisme pour représenter les connaissances dans le système *ARES*. Nous ne reviendrons pas sur ce formalisme, préférant présenter la représentation et l'usage de connaissances dans des travaux plus récents. Ce chapitre est structuré en 4 sections. La première propose une brève présentation de la notion de connaissance et de l'ingénierie des connaissances ; elle est suivie par l'exposé de la problématique de la gestion des connaissances dans les collecticiels, et s'achève par quelques propositions formulées pour nos projets de recherches. Les deux sections suivantes présentent deux applications, inscrites dans cette problématique : (1) un système de formation de régulateurs de trafic, traitant de connaissances en régulation de trafic urbain ; (2) un système de gestion, de suivi et d'évaluation de projets d'étudiants, traitant de connaissances dans le domaine des projets d'étudiants. La dernière section propose une synthèse de ces recherches et l'énoncé de quelques perspectives pour nos travaux.

3.1. Introduction

3.1.1. L'ingénierie des connaissances

L'ingénierie des connaissances (IC) est une discipline émergente, qui a suivi une certaine évolution de l'intelligence artificielle, lorsque celle-ci, après avoir proposé des méthodes et outils de résolution de problèmes, de simulation de raisonnements humains ou de savoir-faire d'experts, s'est donnée pour ambition d'assister l'utilisateur ([Teulier et al., 2005](#)). Ainsi, l'objectif global de ce champ disciplinaire – ontologie¹⁷, acquisition des connaissances et explications, développement de SBC et réutilisation, langage de représentation des connaissances, Web sémantique, etc. – est bien de fournir les éléments de références, permettant de réaliser les applications du traitement de la connaissance au sein des organisations et dans les activités humaines ([Zacklad, 2000](#) ; [Dieng-Kuntz et al., 2001](#)).

La gestion des connaissances implique un enchaînement d'étapes telles que le recueil, la modélisation/structuration, la représentation, la capitalisation, la maintenance et l'évolution de

¹⁶ Simon H-A., (1969), *The sciences of the artificial*, Cambridge (MA): MIT Press.

¹⁷ Une ontologie est la spécification d'une conceptualisation qui consiste, pour un domaine, « dans la donnée des classes conceptuelles et de leurs propriétés formelles » (Bachimont, 1996). « Chaque base de connaissance, système à base de connaissances, ou agent du niveau des connaissances doit en passer par une conceptualisation, explicitement ou implicitement » (Gruber, 1993).

celles-ci. Pour une entreprise, une organisation ou une communauté, la connaissance est une valeur stratégique. Si elle désire maintenir son niveau de performance, il lui appartient donc de gérer son patrimoine de connaissances : créer, capitaliser, partager et faire évoluer ses connaissances ([Ermine, 20003](#)). Prolongeant le concept de connaissances, certains chercheurs adoptent un point de vue documentaire en considérant que l'IC est essentiellement une ingénierie des supports numériques de connaissances et, qu'à ce titre, elle ferait partie de l'ingénierie documentaire ([Bachimont, 2004](#) ; [Zackad, 2007](#)).

3.1.1.1. Acquisition et représentation des connaissances

Les notions de *donnée*, *information* et *connaissance* sont difficiles à appréhender et à distinguer. Prince ([1996](#)) les caractérise ainsi : (1) une donnée est un signifiant susceptible d'être capté, enregistré, transmis ou modifié par un agent ; (2) une information est un signifié transporté par une donnée ; et (3) une connaissance est l'élément qui permet de transformer des données en informations. Bachimont ([2004](#)) propose une caractérisation plus générale de la notion de connaissance : « *la capacité d'exercer une action pour atteindre un but* ». Notons que Rousseaux ([2005](#)) parle d' « invention des connaissances en informatique », pour indiquer que la notion de connaissances des informaticiens ne correspond pas nécessairement à la notion de connaissance du sens commun.

L'un des principaux thèmes de recherche de l'IA est l'étude de la représentation des connaissances, afin de modéliser les processus liés aux activités intelligentes que sont : la compréhension du langage, le raisonnement, l'apprentissage, la résolution de problèmes, etc. L'emploi du terme « connaissances » est chargé d'implicite ([Kayser, 1997](#)) : s'agit-il de connaissances générales ou spécifiques à un domaine ? Faisons-nous référence aux connaissances elles-mêmes ou à leurs représentations ? Bien que les connaissances soient de natures variées, une typologie sommaire permet d'identifier quatre classes : (1) les connaissances du domaine (déclaratives pour les savoirs, procédurales pour les savoir-faire) ; (2) les connaissances épisodiques (faits et événements mémorisés) ; (3) les connaissances relationnelles (qualitatives, quantitatives, sous formes de règles) ; et (4) les connaissances conceptuelles (les connaissances épisodiques et relationnelles font appel à des concepts). Il est aussi courant de distinguer¹⁸ les connaissances tacites (difficiles à formaliser et relevant de compétences individuelles) et les connaissances explicites (plus facilement formalisables). A celles-ci s'ajoutent les connaissances émergentes dans l'action (résultat d'une observation, du raisonnement, de la combinaison de connaissances explicites). Le partage de connaissances est capital pour une organisation. Il s'agit notamment d'explicitier les connaissances tacites grâce à des méthodes et outils de modélisation, puis de les diffuser dans l'organisation grâce aux réseaux et outils de travail partagé ([Zacklad, 2000](#)). Nonaka et Takeuchi ([1995](#)) ont proposé quatre modes de création ou de conversion des connaissances en croisant leur nature tacite ou explicite : socialisation, internalisation, externalisation et combinaison.

L'expertise d'un individu ou d'un système, en tant que compétence, est corrélée à son niveau de compréhension des données, des informations, des connaissances et des savoir-faire, dans un domaine défini. Les données y sont des faits bruts, les informations des données reliées entre elles, les connaissances des informations intégrées en contexte, et les savoir-faire les connaissances appliquées aux décisions.

Acquisition des connaissances

L'acquisition des connaissances est souvent considérée comme une activité de transfert, consistant à traduire les connaissances et les savoir-faire des experts d'un domaine, dans un formalisme de représentation donné. Cette activité doit en fait être vue comme un processus de modélisation ([Trichet, 1998](#) ; [Charlet, 2002](#)). Elle se décompose en trois phases : (1) la construction d'un modèle conceptuel – activité de modélisation que de nombreuses démarches

¹⁸ Hildreth et Kimble (2002), préfèrent distinguer les connaissances « dures », faciles à capturer et à traiter, et les connaissances « molles », incluant l'expérience personnelle et les connaissances tacites.

et méthodes proposent d'assister ([Dieng-Kuntz et al., 2001](#) ; [Milton, 2007](#)) ; (2) la construction de la base de connaissances proprement dite ; puis (3) la validation du modèle et de la base. Bien évidemment, à condition de veiller à maintenir la cohérence des connaissances, ceci n'exclut pas la possibilité de faire évoluer la base de connaissances : de façon statique, lors de phases de mise à jour, ou de façon dynamique, par acquisition automatique de connaissances lors des séquences d'utilisation (métaphore de l'apprentissage par l'expérience).

Parmi les modèles d'acquisition des connaissances, il est possible de distinguer deux approches : (1) une *approche centrée sur les documents*, telles que les analyses terminologique et sémantique de corpus linguistiques, pour rechercher les concepts d'un domaine, et concevoir ainsi des index ou des thesaurus ([Aussenac-Gilles et al., 2005](#)) ; et (2) une *approche centrée sur les processus*, avec la modélisation systématique de l'activité et de l'organisation des acteurs, telle la méthodologie MKSM¹⁹ ([Ermine et al., 1996](#)).

Au-delà de l'acquisition des connaissances se pose la problématique de leur capitalisation. Celle-ci est caractérisée par cinq facettes ([Zacklad et Grundstein, 2001](#)) : le repérage des connaissances, la préservation des connaissances, la valorisation des connaissances, l'actualisation des connaissances et le management des connaissances.

Représentation des connaissances

Dans les SI, les connaissances peuvent être représentées par des structures relationnelles d'objets et d'actions. Les concepts d'*objets* et d'*actions* sont exploités pour décrire les états d'un domaine (objets) avec leurs invariants, et les évolutions de ce domaine (actions) avec les règles de changement d'états (pré-conditions et post-conditions). Pour réaliser cette conceptualisation nous disposons de deux types de connaissances : les connaissances terminologiques pour désigner les objets du domaine et les connaissances assertionnelles, construites à partir des éléments précédents, pour exprimer les relations relatives au domaine.

Pour une discussion plus étendue sur la représentation des connaissances et les raisonnements associés, nous renvoyons le lecteur aux nombreux ouvrages qui en font une large description ([Kayser, 1997](#) ; [Ermine, 2003](#) ; [Teulier et al., 2005](#), entre autres). Parmi l'ensemble conséquent des modèles de représentations proposés, nous avons essentiellement utilisé les cinq suivants : (1) les frames ([Minsky, 1975](#)), comme formalisme pour la connaissance descriptive ; (2) les règles de production ([Buchanan et Shortliffe, 1984](#)), comme formalisme pour la connaissance déductive ; (3) les graphes conceptuels ([Sowa, 1984](#) ; [Mugnier et Chein, 1996](#)), comme formalisme unifiant les connaissances descriptive et déductive ; (4) la représentation à partir de cas ([Aamodt et Plaza, 1994](#) ; [Renaud et al., 2007](#)) ; et (5) et les mémoires de projets ([Matta et al., 1999](#) ; [Karsenty, 2001](#) ; [Dieng-Kuntz et al., 2001](#)), comme formalismes pour la mémorisation et la remémoration de la connaissance.

3.1.1.2. *Systèmes à base de connaissances*

Pour Charlet et al. ([2001](#)), les SBC sont des « *systèmes sémiotiques de manipulation d'inscriptions symboliques, dont le fonctionnement informatique doit permettre à un utilisateur d'interpréter et de comprendre le système dans le cadre de son activité et de ses usages, en utilisant les termes du domaine* ». Ils manipulent des connaissances représentées explicitement, éventuellement hétérogènes dans les systèmes intégrant différentes natures de connaissances, formalismes de représentation et méthodes de résolution, pour augmenter leur compétence. Ainsi les tâches que doivent réaliser les SBC ne se définissent pas par les programmes qui les accomplissent, mais par les connaissances que ces programmes expriment ([Bachimont, 2004](#)) : le *niveau des connaissances* selon Newell ([1982](#)).

Un SBC est donc un système qui simule l'expertise humaine dans un domaine : ses actions « intelligentes », son raisonnement, l'évolution de ses connaissances, l'acquisition de nouvelles

¹⁹ *Method for Knowledge System Management*. Méthode qui fournit une structure générique permettant d'analyser le patrimoine de connaissances d'une organisation et d'élaborer un *Livre de Connaissances*.

connaissances. Pour cela une démarche de recueil d'expertise doit être suivie, de façon à modéliser les connaissances mémorisées par les détenteurs du savoir du domaine, les spécialistes ou les documents de références.

Le modèle classique d'un SBC ([Hayes-Roth et al., 1983](#)) comprend cinq modules : (1) *une base de faits*, contenant des connaissances temporaires, spécifiques à un domaine et représentées sous la forme d'assertions ou de données élémentaires ; (2) *une base de règles*, contenant les connaissances générales du domaine d'expertise, sous la forme de relations causales <Si conditions ALORS conclusions> ; (3) un *moteur d'inférences*, simulant le savoir-faire de l'expert par application de règles sur les faits du problème à traiter (noyau de la résolution de problèmes) ; (4) un *module d'explication*, utilisant les faits, les règles et surtout les traces de raisonnement que construit progressivement le moteur d'inférences (explications pour les diagnostics et/ou les conseils) ; et (5) une *interface*, permettant d'établir une interaction directe entre l'utilisateur et le SBC (acquisition ou transmission de connaissances, communication avec les utilisateurs). La généralité de cette architecture a rendu possible la conception de générateurs de SBC, adaptés à différents domaines d'expertise et permettant de se focaliser sur la seule acquisition de connaissances. Gardons à l'esprit, cependant, qu'un SBC est un système technique inséré dans un ensemble d'usages ([Charlet et al., 2001](#)). On ne peut donc faire l'économie d'une analyse approfondie de l'activité lors de la conception d'un tel système : une analyse de l'activité située, des processus cognitifs et des connaissances du domaine.

Suite à l'identification du niveau de connaissance faite par Newell, il est couramment admis que le développement d'un SBC requiert la création explicite d'un modèle conceptuel : description des tâches du futur SBC, des connaissances et des méthodes utilisées pour résoudre les problèmes qui seront soumis au SBC ([Charlet et al., 2001](#)). Beaucoup d'approches méthodologiques vont dans ce sens ; nous-mêmes, dans nos différents projets, avons expérimenté les méthodologies *KOD*²⁰ ([Vogel, 1988](#)), *MKSM* ([Ermine et al., 1996](#)) et *CommonKADS*²¹ ([Schreiber et al., 2000](#)). Nous renvoyons à ([Dieng-Kuntz et al., 2001](#)) pour un large panorama sur ce thème. *CommonKADS* s'imposant en Europe comme un standard pour la conception de SBC, nous nous y attardons ci-dessous.

La méthodologie *CommonKADS*, propose la conception d'un SBC à travers la construction de six modèles : (1) le *modèle d'organisation*, qui décrit le contexte organisationnel dans lequel viendra s'insérer le futur SBC ; (2) le *modèle de tâche*, qui décrit les tâches globales réalisant les fonctions identifiées dans le modèle organisationnel, ainsi que leur décomposition en sous-tâches ; (3) le *modèle des agents*, qui décrit les compétences des agents, humains et logiciels, nécessaires à la réalisation des tâches ; (4) le *modèle de connaissance*, qui décrit l'expertise nécessaire à la réalisation des tâches, selon trois niveaux (domaine, inférence et tâche) ; (5) le *modèle de communication*, qui décrit les interactions entre les agents, les utilisateurs et le SBC ; et (6) le *modèle de conception*, qui spécifie le SBC implémentant les connaissances modélisées dans les cinq modèles précédents. Dans nos projets, nous avons principalement retenu les trois niveaux du modèle des connaissances, à savoir : le niveau domaine (modélisation sous la forme d'objets, concepts et relations), le niveau inférence (modélisation sous la forme de schémas d'inférences des structures de résolution de problèmes) et le niveau tâche (modélisation sous la forme de buts, de sous-tâches et de structures de contrôle).

²⁰ *Knowledge Oriented Design*. Cette méthodologie permet, à partir de textes, une décomposition structurale des objets et des fonctions associées à ces objets. Elle propose d'effectuer la modélisation et la représentation des connaissances d'un expert autour de trois modèles (pratique, cognitif et informatique) et de 3 paradigmes (représentation, action et interprétation).

²¹ *Common Knowledge Acquisition and Design Support*. Cette méthodologie est le résultat des programmes européens ESPRIT, KADS-I (*Knowledge Analysis and Documentation System*), puis KADS-II (*Knowledge Analysis and Design Support*).

3.1.2. Comment exploiter des connaissances dans les collecticiels ?

L'IC était déjà au cœur de notre thèse et des projets qui ont suivi. Depuis 2003, les systèmes que nous étudions ou concevons sont coopératifs ; ils gèrent ainsi des connaissances sur l'activité, les acteurs et leur organisation. Les problèmes induits d'acquisition, de modélisation et de traitement de ce type de connaissances correspondent aux défis de l'IC énoncés par Charlet et al. (1998) dans le « Dossier Ingénierie des Connaissances » du bulletin de l'AFIA.

Pour Teulier (2007), l'analyse des connaissances dans les organisations « *tend à tenir compte de plus en plus du fait que la cognition est située et à modéliser les connaissances en relation avec les pratiques et l'action* ». Les situations sont toujours différentes et évoluent en permanence, ce qui contraint les acteurs à ajuster leur comportement en adaptant leurs actions ou micro-pratiques (Jarzabkowski, 2003). Aussi, plusieurs types de modèles de connaissances sont utilisés pour la conception d'outils dotés de compétences à coopérer tels que les collecticiels (Rousseaux, 1995 ; Lewkowicz et Zacklad, 2005). L'activité, la coopération et les utilisateurs sont modélisés dans le but de réaliser le contrôle de ces outils, en tenant compte du contexte de leur utilisation et de la spécificité de leurs utilisateurs. C'est ainsi que sont définis les trois modèles de MOGAC²² (Zacklad, 2000) : modèle de tâche (dépendances chronologiques entre tâches et dépendances fonctionnelles entre sous-buts), modèle des agents (savoir-faire, responsabilités, disponibilités) et modèle d'organisation (situations d'interactions entre agents poursuivant un but identique et principes généraux de coordination entre groupes).

Dans *CommonKADS* (Schreider et al., 2000), une tâche : (1) représente une activité orientée par les buts, (2) consomme des *inputs* et produit des *outputs* de façon contrôlée, (3) demande de la connaissance et des compétences, (4) consomme des ressources, (5) est réalisée selon des critères de qualité et de performance, et (6) est réalisée par des agents. Certaines approches de construction de modèles d'expertise reposent sur une ontologie de tâches, d'actions ou de modèles d'actions ; il en est ainsi pour la méthode *OntoKADS* qui propose une ontologie générale de la résolution de problèmes (Bruaux et al., 2007).

Le tableau suivant propose une typologie des connaissances corrélées à la structure basique d'une activité (Kuutti, 1996) (au chapitre 5, nous reprendrons ce modèle dans une perspective coopérative – cf. figure 20).

L'activité	Les connaissances associées
L'objet	Connaissances sur l'activité et l'objet de l'activité.
Les outils	Connaissances sur le(s) outil(s)
Le produit	Connaissances sur les produits de l'activité
Le sujet	Connaissances sur le sujet, ses compétences, sa relation avec les éléments de l'activité : - Sujet → outil : <i>que peut faire le sujet avec les outils et comment ?</i> - Sujet → objet : <i>que doit faire le sujet dans l'activité et comment ?</i> - Sujet → sujet : <i>que peut/doit faire le sujet avec les autres sujets et comment ?</i> (coopération, communication, coordination, règles adoptées par la communauté, division du travail, rôles joués par les individus, ...)

Tableau 1. La structure basique d'une activité vue sous l'angle des connaissances.

Les interdépendances entre les connaissances (domaines, métiers, organisationnelles) et l'activité, sont très souvent abordées pour la conception de SBC (Teulier et Girard, 2005), et le développement de pratiques et d'artefacts pour assister l'activité. Réciproquement, les systèmes conçus pour assister l'action collective permettent d'observer les processus de

²² MOdèle Global de l'Activité Collective

création, de partage, de transformation et d'utilisation des connaissances. Dans ce contexte, la notion de « document pour l'action » (DopA) offre des perspectives intéressantes : les documents deviennent un média pour la gestion des connaissances, dans un univers « hyper rédactionnel » ([Zacklad, 2006](#)). L'articulation des transactions communicationnelles devient plus ou moins explicite avec ces documents numériques fragmentés. La somme de ces documents constitue un véritable système d'information collectif partagé, rassemblant, au fur et à mesure de leur élaboration, les contributions du collectif. La notion de *DopA* peut être prolongée par celle de « dossier pour l'action », illustrée pour des réseaux de santé dans ([Bénard, 2007](#)). Ce dossier est à la fois : un soutien à l'activité collective en cours, une trace des décisions ou des analyses, une mémoire des transactions associées aux processus de résolution de problèmes, un objet indexable pour des processus visant à l'exploiter.

Pendant la réalisation d'activités coopératives les acteurs produisent des connaissances qui pourront leur être utiles dans la suite de l'activité, ou servir à d'autres acteurs lors de travaux futurs similaires. Lorsque ces activités sont instrumentées, nous pouvons chercher à profiter de la disponibilité de ces connaissances pour apporter une aide aux acteurs, faciliter leur activité ou construire une mémoire de leur activité. Ces propositions supposent, de la part des différents acteurs, le respect d'un noyau minimal de règles de coopération. Prenons par exemple le cas de la conception d'un système de médiation (application décrite au §3.3), dont l'objectif est de faciliter l'utilisation d'applications coopératives. La conception de ce système repose sur l'expertise d'un domaine et nécessite la modélisation cognitive des processus de connaissances utilisés par l'utilisateur lors de son activité ([Perrin, 1999](#)). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur plusieurs concepts :

- Les *mémoires d'activité*. La coopération permet l'élaboration d'un savoir commun capitalisable. Les tâches médiatisées par un système coopératif produisent des connaissances qui peuvent être mémorisées, puis remémorées lors de futures activités. La réflexion portée sur la notion de mémoire d'activité, nous a amené à considérer le modèle de mémoire de projet ([Matta et al., 1999](#) ; [Matta, 2004](#)). Nous l'avons adapté à notre problématique d'activités coopératives. Par exemple, dans le contexte de la réalisation de projets d'étudiants il n'était pas fondamental de conserver le détail de tous les projets, mais une synthèse incluant l'évaluation de l'enseignant tuteur et un filtrage de ce dernier permettant de discriminer les projets réussis et les projets a priori typiques. Par contre, dans nos projets en co-conception de produits, la mémorisation peut s'étendre à l'ensemble des éléments apparaissant dans le processus de conception ([Conklin et Burgess-Yakemovic, 1991](#)) : les objets produits (finaux ou intermédiaires), les interactions entre les acteurs et l'enchaînement des tâches qui définissent le contexte général de l'activité, etc. Un de nos apports au modèle de *Matta et al.* ([1999](#)), est l'introduction d'une base de cas, regroupant les connaissances de projets.
- *Le modèle de résolution de problème*. La résolution de problème fait l'objet de nombreuses définitions. Pour Simon ([1969](#)), résoudre un problème signifie « *le représenter de façon à rendre sa solution transparente* ». Pour Weil-Barais ([2005](#)) résoudre un problème suppose de « *percevoir l'environnement, de faire appel à des connaissances stockées en mémoire, d'effectuer des raisonnements, des jugements, toutes ces activités faisant elles-mêmes appel au langage* ». Les modèles d'argumentation, structurant le processus de résolution collective de problèmes afin de le mémoriser, sont aussi nombreux ; ainsi, la méthode QOC²³ ([MacLean et al., 1996](#)), issue du *rationale design*, ou les modèles ABRICo²⁴ et DIPA²⁵, issus de l'IC ([Lewkowicz et Zacklad, 2001](#)). Le modèle de résolution de problème que nous avons retenu correspond au schème *<description du problème, analyse du problème, choix d'une solution, réalisation de la solution, évaluation de la solution>*.

²³ *Questions, Options and Criteria*

²⁴ *Accords, Buts, pRopositions, Interprétation en Conception*

²⁵ *Données, Interprétation, Proposition, Accord*

- *Le RàPC*²⁶. Les tâches de résolution de problèmes constituent un autre aspect des connaissances que nous désirons mémoriser pour affiner le degré d'assistance à proposer dans un collecticiel. En effet le processus de résolution de problèmes apparaît comme un schéma de BC sur les activités et la coopération. Pour représenter ce type de connaissances acquises (mémoire de résolution de problèmes) nous avons retenu le paradigme du RàPC ([Aamodt et Plaza, 1994](#)). Celui-ci est très proche du raisonnement humain. En effet, des personnes résolvant des problèmes ayant une certaine similarité, produisent un raisonnement analogique. Si la performance du raisonnement analogique pour résoudre de nouveaux problèmes est établie, se pose néanmoins les problèmes de leur mémorisation, de l'évaluation de leur représentativité et de leur remémoration ([Renaud et al., 2007](#)). Une machine peut enregistrer un nombre considérable de cas, issus de l'expérience des utilisateurs ou de traitements automatiques. Aussi, un système intégrant des processus de RàPC, facilite la résolution de problèmes en augmentant la mémoire de l'utilisateur par la proposition de cas analogues partiellement ou totalement solutionnés.
- Et enfin, les *frames*, les *règles de production*, les *graphes conceptuels* et récemment des *connaissances floues* ([Ostrosi et al. 2009](#)), pour modéliser, exploiter et traiter les objets, les faits et les règles, acquis auprès d'experts métiers en configuration de produits.

Le tableau suivant (tableau 2) propose une vue synthétique et chronologique des différents projets menés autour de la problématique des connaissances pour les SI. Les systèmes y sont présentés selon trois angles : (1) la nature du SBC, (2) son type de conception, et (3) la nature de ses connaissances. La lecture de ce tableau met en évidence l'évolution des traitements sur les connaissances réalisés par les systèmes développés. Si la problématique des premiers systèmes conçus était centrée sur l'acquisition, la représentation et l'exploitation des connaissances, elle s'est étendue progressivement à la capitalisation puis à la réutilisation des connaissances mémorisées dans l'usage des systèmes.

Projet	SBC	Conception du SBC	Nature des connaissances
<i>ARES</i>	Classique	Méthodologie KOD. Représentation à base de GC. Système modulaire – niveaux du TAL.	Statiques : domaine (télécommunication, spécification et linguistique). Sans stratégie de capitalisation.
<i>STI_Régulateur</i>	Assistant	Méthodologie MOISE et KOD. Rep. à base de frames et règles. Système à base d'agents.	Statiques : domaine (régulation, véhicule, géographie) et tutoriel. Capitalisées : parcours de formation.
<i>SIMBADE</i>	Distribué	Méthodologies MOISE et KOD. Rep. à base de frames et règles. Système à base d'agents.	Statiques : domaine (épidémiologie, santé pub.), agents (médecin et patient). Capitalisées : rapport épidémiologique.
<i>iPédagogique</i>	Assistant et Coopératif	Méthodologie MOISE, mémoire de projet et de résolution de problèmes. Représentation à base de cas. Système à base d'agents assistants.	Statiques : domaine (GP, Pédagogie), utilisateurs (étudiants, enseignants). Capitalisées et mémorisées : mémoire de projets et cas de résolution de problème.
<i>Médiateur</i>	Assistant, coopératif et distribué	Méthodologie inspirée de la théorie de l'activité et de <i>CommonKADS</i> . Représentation à base de règles ECA. Système à base d'agents.	Statiques : domaine (correspondant à l'activité à médier), activité coopérative. Capitalisées et mémorisées : mémoire d'activités.

Tableau 2. *Principales caractéristiques des différents SBC développés*

²⁶ Le raisonnement à partir de cas est fondé sur l'utilisation d'unités d'expériences appelées cas. Un cas C correspond à la donnée d'un problème P et à la solution S de ce problème : $C = (P, S)$. Une base de cas est alors composée d'un ensemble fini de cas sources C_s . Etant donné un problème, appelé cas cible C_c , un système à base de cas, pour résoudre C_c , raisonne en deux phases : la *remémoration* (extraire un C_s pertinent de la base de cas) et l'*adaptation* ($C_s \rightarrow C_s' \equiv C_c$). C_c une fois révisé et testé peut être appris et intégré dans la base de cas (soit le bouclage du cycle de *RàPC*).

3.2. Application : connaissances pour la formation de régulateurs

Pour éviter certains désagréments à sa clientèle et par souci de minimiser les temps de correspondance des usagers, la CTPM²⁷ a mis en place des procédures spécifiques, intégrées dans un système d'aide à l'exploitation, piloté par des régulateurs ([Ould Sidi et al., 2004](#)). L'utilisation de cet outil justifie un effort constant de formation des régulateurs. De là est né le besoin de disposer d'un système de formation. Pour répondre à cette demande de la CTPM, nous avons défini une architecture de type STI²⁸ dotée d'une interface multimodale. Ce STI est conçu comme un logiciel d'autoformation aidant les régulateurs à améliorer la fluidité du réseau de transports urbains et par conséquent la qualité de services. Dans cette section, nous nous intéressons plus particulièrement à l'architecture fonctionnelle du système tutoriel proposé comme outil de formation, ainsi qu'à la conception de la BC de l'agent *Tuteur* ([Fougères, 2001](#)).

3.2.1. Présentation

La formation professionnelle et, de façon plus marquée, l'autoformation en milieu industriel, se distinguent de la formation que l'on dispense dans les établissements d'enseignement supérieur à la fois sur le contenu et les besoins de l'apprenant. Les contenus très spécifiques font appel à des connaissances et des savoir-faire métiers accumulés par l'expérience, l'historique et la tradition de l'entreprise. Les apprenants ont le plus souvent un besoin de formation directement lié à leur activité professionnelle ; le respect et la matérialisation de leur vision pragmatique est de ce fait une nécessité dans les contenus pédagogiques et les moyens déployés. C'est pourquoi nous respectons un cadre méthodologique dans le développement de formations métiers : une étape initiale de modélisation de la connaissance métier, suivi de la conception d'un STI ([Frasson et al., 1996](#)), pour une meilleure adéquation à l'autoformation et au développement des compétences²⁹ de l'apprenant ([Yacef, 1999](#)), puis une étape finale de développement d'un système multi-agents ([Kriaa et Gouardères, 2000](#)).

La première tâche à effectuer pour entrer dans une démarche de gestion des connaissances consiste en l'évaluation des connaissances critiques de l'entreprise, qui caractérisent sa culture et sa différence. Une fois cette évaluation réalisée, il est possible de mettre en œuvre des procédures pour mener la capitalisation des connaissances tacites et explicites de l'entreprise. Il apparaît immédiatement que les connaissances tacites peuvent disparaître d'une entreprise, si un effort de diffusion ou de formation n'est pas assuré. C'est dans ce cadre que se situe notre projet : disposer, réutiliser et mettre à jour un savoir-faire acquis par des régulateurs. Le STI proposé offre aussi des possibilités d'entraînement pour des régulateurs confirmés, notamment grâce aux possibilités d'enrichissement de sa base de connaissances de façon à prendre en compte de nouveaux contextes de régulation.

Le modèle classique des STI repose sur une triple expertise ([Bruillard, 1997](#)) : (1) le domaine à enseigner (expertise du domaine), (2) le domaine de l'enseignement (expertise pédagogique) et (3) le domaine des compétences et des connaissances de l'apprenant (expertise conduisant au modèle de l'apprenant). Ces systèmes ont pour principales caractéristiques : d'être centrés sur un ensemble de tâches similaires ou sur un domaine de connaissance spécifique ; d'offrir à l'apprenant un espace de travail, lui permettant de construire de façon autonome ses propres connaissances en utilisant les outils (ou ressources) adaptés aux tâches qu'il doit réaliser ;

²⁷ Compagnie de Transport du Pays de Montbéliard. Cette compagnie exploite une flotte de 80 véhicules pour couvrir un réseau réparti sur deux zones urbaines, comportant un nombre important de nœuds de correspondance et l'existence d'une seule ligne reliant les deux zones.

²⁸ Système tutoriel intelligent, développés dans le domaine de l'EIAO (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur), dont les idées fondamentales ont été synthétisées par P. Mendehison (1995) : représentation explicite des connaissances et des mécanismes de raisonnement du domaine étudié, modélisation de l'apprenant et explicitation des stratégies tutorielles.

²⁹ Une échelle de compétentiation peut être élaborée à partir des cinq phases d'apprentissage que proposent Dreyfus et Dreyfus (1986) : novice, débutant avancé, compétent, qualifié et expert.

d'associer implicitement des BC d'un domaine et des ensembles de problèmes associés ; d'intégrer fréquemment un système conseiller méthodologique, dans lequel les conseils s'affichent à la demande de l'apprenant (métaphore de la main levée). La définition des objectifs pédagogiques par les formateurs et leurs réalisations sous forme de scénarii, étant des tâches complexes, des assistants tutoriels intelligents ont été proposés ([Yacef, 1999](#)).

Ajoutons que l'architecture classique des STI comporte essentiellement trois niveaux ([Frasson et al. 1996](#)) : (1) le premier niveau interagit directement avec l'utilisateur ; c'est l'environnement d'apprentissage proprement dit ; (2) le second niveau observe le premier et peut donner des conseils sur la démarche ou adapter certains éléments de l'environnement de l'apprentissage ; et (3) le troisième niveau contrôle le second niveau et permet notamment d'adapter ses actions selon un modèle construit au second niveau. Parmi les nombreuses références sur les STI auxquelles peut se reporter le lecteur, nous citerons plus particulièrement : ([Bruillard, 1997](#)) pour une historique complète des systèmes développés, jugés par ailleurs très peu à la hauteur des espérances suscitées, ([George et Leroux, 2001](#)) pour la formation et les environnements interactifs d'apprentissage à distance, et le mémoire d'HDR de Leroux ([2002](#)) pour les EIAH et les relations *partenariales* entre les acteurs (machines, apprenants et enseignants).

3.2.2. Description de l'application

Le projet *STI_Régulateur* fait suite à un premier prototype ludique, développé dans le cadre de projets d'étudiants de l'UV « Système à base de connaissances », et qui a permis de valider notre approche. Ce prototype s'applique à l'apprentissage de jeunes dresseurs de Pokémon, chers à la jeune génération du moment. L'agent scénario choisit un Pokémon et propose au jeune apprenti du système trois autres Pokémon susceptibles de l'affronter. L'apprenti a la possibilité de répondre directement à l'agent scénario ou de solliciter l'assistance de l'agent tuteur. Ce dernier peut délivrer les traces de son raisonnement au fur et à mesure de sa résolution, en activant sa BC hétérogènes (frames, règles de production et règles pragmatiques du type [*situation* ⇒ *action*]).

3.2.2.1. Le système tutoriel intelligent *STI_Régulateur*

L'approche pédagogique envisagée se matérialise par un environnement coopératif mettant en relation un apprenant (le régulateur) et un tuteur intelligent. Ce tuteur intelligent est en fait un agent conseiller capable de guider l'apprenant et de générer des explications ([Paquette et al., 1996](#)). L'acquisition des connaissances de l'apprenant repose sur une stratégie pédagogique orientée simulations, grâce à l'animation de scénarios paramétrables, tels que :

- « Un autobus ayant pris du retard, ne permet plus d'assurer une correspondance. » ou
- « Le trajet d'un autobus passe par une rue qui vient d'être coupée à la circulation à cause de travaux, sans que la société de transport en ait été informée. »

D'autre part, le système tutoriel doit rester ouvert afin de faciliter l'acquisition de nouveaux scénarios révélés au quotidien dans l'activité de régulation de trafic. Il doit permettre ainsi de servir d'outil d'entraînement à des régulateurs déjà confirmés.

L'architecture globale de *STI_Régulateur* repose sur trois composants : (1) le module de gestion de l'expertise de la régulation de trafic, (2) le module de gestion de l'expertise pédagogique, et (3) l'interface graphique, conçue avec le modèle agent PAC ([Coutaz et Nigay, 2001](#)), constituant l'environnement d'interaction entre l'apprenant et le système. La figure suivante (figure 7) illustre l'interaction entre ces trois modules et l'apprenant. On y remarque une organisation à deux niveaux, modélisés par des agents ([Leman et al., 1996](#)) :

- *Niveau 1 : le système d'apprentissage*. Il comprend quatre agents : (1) un agent *tuteur* doté des connaissances du domaine et d'une expertise pédagogique (conseils, explications, profilages des apprenants), (2) un agent *apprenant*, lié au modèle de l'apprenant et faisant office d'interface entre l'apprenant et le système, (3) un agent *scénariste*, pilotant la base de scénarii de régulation, et (4) un agent *interface* gérant l'interaction de l'utilisateur avec le système, et informant les trois autres agents.

- *Niveau 2 : le système des scénarisation.* Les scénarios sont pilotés par l'agent scénariste. Son rôle est d'exposer une situation suscitant une réaction de la part de l'apprenant : la régulation. Un scénario est une description textuelle d'un problème de régulation à laquelle on propose un éventail de solutions potentielles (choix, vrai/faux, classement, etc.).

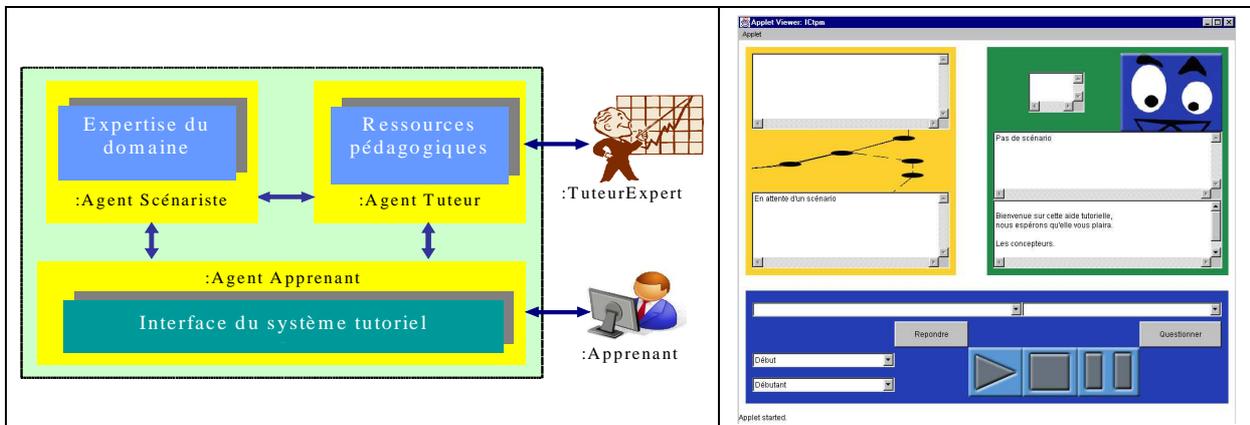


Figure 7. Architecture proposée pour STI_Régulateur et son IHM (Fougères, 2000)

3.2.2.2. Construction de la base de connaissances du domaine de la régulation

Les connaissances de l'agent tuteur sont représentées par des structures relationnelles d'objets et d'actions (*frames*) et par des règles d'inférences. Pour réaliser la conceptualisation nous disposons de deux types de connaissances : les connaissances terminologiques désignant les objets du domaine et les connaissances assertionnelles (structurelles, pragmatiques et causales), élaborées à partir de l'analyse des entretiens avec l'expert. Pour diriger cette phase de modélisation conceptuelle nous avons adopté la méthode *KOD* (Vogel, 1988). L'identification des données fait appel à des techniques d'analyse linguistique et de classification automatique à partir des textes d'entretiens enregistrés. La modélisation de la connaissance produit une représentation sous forme de *frames* et de règles de régulations. De la phase de modélisation conceptuelle avec *KOD*, à savoir, l'identification des connaissances, l'établissement des liens structurants et leur formalisation sémantique, il ressort trois sortes d'éléments :

- Les *taxèmes* (objets du domaine) représentés par le triplet $\langle \text{objet}, \text{attribut}, \text{valeur} \rangle$, structurés en taxinomies (classification des objets) puis implémentés sous la forme de *frames*. A titre d'exemple, pour l'objet « bus » :

```
%frame(objet, propriété, facette, valeur).
frame(bus, type, valeur, [[gaz, ancien]]).
```
- Les *actèmes* (actions identifiées) représentés par le septuplet $\langle \text{destinateur}, \text{action}, \text{destinataire}, \text{propriétés}, \text{état_antérieur}, \text{état_postérieur}, \text{instruments} \rangle$, structurés en actinomies (séquence d'actions, plans), puis implémentés sous la forme de *frames*. Soit, par exemple, la « vérification de l'existence d'une fuite d'eau par le chauffeur » :

```
%frame(action, agent, objet/état, valeur).
frame(vérifier, chauffeur, fuite_eau, [visible, invisible]).
```
- Les *schémèmes* (modaux, causaux ou procéduraux) recensés par identification des inférences – bien que de nombreuses inférences soient implicites, et donc rarement verbalisées selon le schéma d'énonciation : *SI* $\langle \text{conditions} \rangle$ *ALORS* $\langle \text{actions} \rangle$. A titre d'exemple, considérons la défaillance de la boîte de vitesse d'un bus :

```
SI (boîte_vitesse défaillante) ALORS (changer_bus sur la ligne)
```

3.3. Application : connaissances pour assister la gestion de projets

Le développement des NTIC dans les EIAH (Wolfe, 2001) offre la possibilité de réfléchir à la conception de nouveaux outils pédagogiques qui s'intègrent dans la relation triangulaire

(*Apprenant, Support_Pédagogique, Enseignant*). En 2000, dans le cadre d'un appel à projet interne à l'UTBM, nous avons proposé la conception de l'environnement pédagogique *iPédagogique* (développement en trois phases expérimentales). Les principaux objectifs de cet outil ([Fougères et Canalda, 2002](#)), utilisé dès le premier prototype dans le département « Génie Informatique », sont : (1) de structurer et d'instrumenter les activités coopératives de suivi, de gestion et d'évaluation de projets d'étudiants, et (2) d'offrir une assistance aux utilisateurs étudiants et enseignants engagés dans cette coopération. Nous nous sommes alors intéressés au niveau connaissance d'un tel environnement d'apprentissage mettant en œuvre une pédagogie de projets : le recueil des connaissances (expertise), la modélisation des activités de gestion et de suivi de projets, la représentation et l'exploitation des connaissances dans l'environnement ([Ospina et Fougères, 2003](#) ; [Ospina et al., 2005](#)).

3.3.1. Présentation

L'enseignement d'unités de valeurs scientifiques ou techniques est essentiellement fondé sur l'acquisition de connaissances conceptuelles et la validation d'un savoir-faire. Au cours d'une formation, l'apprenant et l'enseignant doivent coopérer pour surmonter des difficultés organisationnelles et pour introduire (enseignants) ou pour acquérir (étudiants) des compétences implicites aux activités pédagogiques, telle la gestion de projets d'étudiants (GPE). L'instrumentation de ces activités coopératives conduit à concevoir des EIAH coopératifs tel qu'*iPédagogique*. La modélisation des connaissances d'*iPédagogique* s'étend sur deux parties : la première concerne les connaissances initiales du domaine et l'ensemble des conseils proposés, la deuxième concerne les connaissances acquises pendant l'utilisation telles que les mémoires d'activité et de résolution de problèmes. Pour la modélisation des connaissances acquises nous nous sommes inspirés du modèle de mémoire de projet proposé par Matta et al. (1999) et du RàPC ([Aamodt et Plaza, 1994](#)). Ces connaissances d'expérience permettent d'améliorer la pertinence de l'assistance apportée aux activités coopératives futures. Pour illustrer notre approche de modélisation de connaissances, nous l'appliquons à la médiation dans l'environnement *iPédagogique* ([Ospina et al., 2005](#)).

3.3.2. Description de l'application

Un projet logiciel est une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement un système logiciel à venir³⁰. Il est défini et mis en œuvre pour élaborer une réponse aux besoins de futurs utilisateurs. Il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données. Un projet est constitué de tâches identifiées en tant que telle, caractérisées par un début et une fin, consommatrices de ressources et reliées entre elles par une relation d'antériorité. Ces définitions sont à la base de notre modèle de projet d'étudiant (figure 8).

Les connaissances nécessaires à la médiation des projets d'étudiants sont de deux natures : des connaissances initiales portant sur le domaine (projets d'étudiants et discipline concernée) et des connaissances acquises au travers des activités assistées par *iPédagogique* (mémoires d'activité et de résolution de problèmes). Leur modélisation respecte une démarche de gestion des connaissances ([Zacklad, 2000](#)), à savoir : capitalisation du patrimoine de connaissance existant (connaissances tacites en GPE), partage des connaissances destinées aux différents groupes de projets et création de nouvelles connaissances, issues de la réalisation des projets et des résolutions de problèmes ([Ospina et al., 2005](#)).

³⁰ La DSI du CNRS a fourni une information éclairante à ce sujet (<http://www.dsi.cnrs.fr/conduite-projet/>).

<u>Projet d'étudiant</u>	
Projet ::=	Nom, Auteur, Tuteur, Description, {Phases}, Début, Fin
Groupe ::=	Projet, Groupe
Phase ::=	Nom, Acteurs, Description, {Tâches}, Etat, Echéance, Documents en entré, Documents en sortie
Tâche ::=	Nom, Responsable, Description
Etat ::=	En cours En retard En validation Validée
Groupe ::=	{Acteurs}
Acteur ::=	Nom, {Rôles}
Rôle ::=	Responsable Rédacteur Participant ...

Figure 8. Définition d'un projet d'étudiant

3.3.2.1. Connaissances initiales

Pour assister les premières utilisations, le système doit se référer à des connaissances stables et expertes, issues d'une conceptualisation du contexte d'activité de réalisation de projets d'étudiants : les connaissances du domaine de la gestion de projets et la base de conseils, couvrant la réalisation de l'ensemble des phases d'un projet.

- *Modèle du domaine.* Les connaissances du système *iPédagogique* comprennent des connaissances associées aux activités de définition, de gestion, de suivi et d'évaluation de projet ([Fougères et Ospina, 2004](#)). La modélisation de ces connaissances a suivi partiellement la méthodologie *CommonKADS* ([Ospina, 2007](#)). Les informations sur l'organisation concernent les connaissances des utilisateurs et leurs rôles dans les activités coopératives de réalisation de projets. Elles évoluent, puisque selon le contexte d'utilisation le système est en mesure de compléter les profils utilisateurs. Cette modélisation dynamique est décrite dans la section suivante. Nous ne présentons pas ici la modélisation des activités de gestion, de suivi et d'évaluation de projets ([Fougères et Ospina, 2005](#)). En effet, même si elles appartiennent à l'ensemble des connaissances du domaine, ces activités sont intrinsèquement coopératives ; nous préférons alors les détailler au chapitre 6, dans une perspective d'instrumentation d'activité coopérative.
- *Modèle des conseils.* Le conseil est analogue à la notion de guidage mais produit davantage des informations d'ordre méthodologiques. Pour l'identification des conseils délivrés par notre système, nous nous sommes référés à ([Paquette et Tchounikine, 2002](#)) qui proposent de différencier les conseils essentiellement liés à la démarche préconisée ou aux produits élaborés : des conseils de démarche, des conseils de cohérence et des conseils de qualité. La diffusion des conseils est administrée dans notre système par un ensemble d'agents dotés de connaissances inférentielles (exemple : SI « groupe est en retard » ET SI « rappel est non envoyé », ALORS « envoyer rappel »). Les schémas de conseils, représentés au format XML, comportent les informations suivantes : identification, description, type et emplacement.

3.3.2.2. Connaissances acquises

Les connaissances initiales sont élaborées à partir d'extrapolations et se développent dans l'interaction des utilisateurs avec le système. Pour accroître ce niveau de connaissances, en transposant la notion d'expérience, nous construisons une mémoire d'activité. Cette mémoire d'activité pourra servir lors de futures utilisations, ou être invoquée par des fonctionnalités de synthèse d'activité (évaluation, édition de compte-rendu, par exemple).

- *Mémoire d'activité.* Un projet correspond à un cas, éditable sous la forme d'une fiche de synthèse de projet (figure 9.a). Cette fiche conserve la trace ([Mille et al., 2006](#)) du déroulement global du projet et fait référence à un ensemble de situations de résolution de problèmes (expérience) dont la connaissance pourra être utile à de futurs étudiants. La fiche est remplie de façon coopérative entre étudiants, tuteurs et agents d'*iPédagogique*.

Fiche de Synthèse du projet

Description du projet

Phase	Annotation
Spécifier	La phase a été gérée correctement, si on excepte un léger débordement
Concevoir	L'organisation du groupe a été déficiente sur le partage du travail de la phase
Réaliser et Tester
Valider

Evaluation A B C D E

Commentaire Général

Commentaire global sur le projet

Fiche de Résolution du problème

Description du problème.....

Solutions possibles

Solution 1	Solution 2
Solution 3	Solution 4

Solution Retenue 2

Evaluation

Très Satisfaisant Satisfaisant

Correct Insatisfaisant

Figure 9. (a) Fiche de synthèse d'un projet³¹ et (b) Fiche de résolution de problème

- *Mémoire de résolution de problème.* Les étudiants ayant résolu un problème ont la possibilité de le consigner dans une fiche (figure 9.b), rapportant ainsi les résultats de la génération et de l'évaluation de solutions (Darses, 2005). Pour s'assurer de ne conserver que des fiches ayant une relative pertinence pédagogique, un processus de filtrage est prévu pendant la phase d'évaluation de l'enseignant tuteur. Celui-ci coopère au processus de mémorisation, en assurant le rôle de garant de la représentativité du problème identifié, résolu, puis rédigé par les étudiants.
- *Evolution des connaissances.* Les mémoires d'activité et de résolution de problèmes sont complétées par la coopération des acteurs avec le système pendant le déroulement des projets. La sauvegarde de ces connaissances dans la base de cas est gérée par *iPédagogique*. Certaines connaissances initiales, telles que les profils utilisateurs, restent contextuelles. Elles ne sont donc conservées que sur la durée du projet. La figure 10 présente le schéma général de mémorisation des connaissances, divisé en deux processus : (1) la mémorisation d'activité conduisant à l'élaboration d'une fiche de synthèse (figure 9.a), guidée par une modélisation des activités (gestion, suivi et évaluation) ; et (2) la mémorisation des actes de résolution de problèmes, reflétant la prise d'autonomie des étudiants par la rédaction de fiches (figure 9.b) ; ce processus coopératif comporte un filtre assuré par le tuteur, responsable pédagogique. La base de cas ainsi enrichie augmente la capacité du système à apporter une assistance aux futurs étudiants (cf. chapitre 6). Dans la figure 10, les BD blanchies contiennent les informations temporaires et les BD grisées constituent la mémoire à long terme du système de médiation.

³¹ L'évaluation *P* d'un groupe d'étudiants correspond à : [A : excellent ($P \geq 90\%$) ; B : bon ($90\% < P \geq 65\%$) ; C : moyen ($65\% < P \geq 40\%$) ; D : insuffisant ($40\% < P \geq 10\%$) ; E : très insuffisant ($P < 10\%$)].

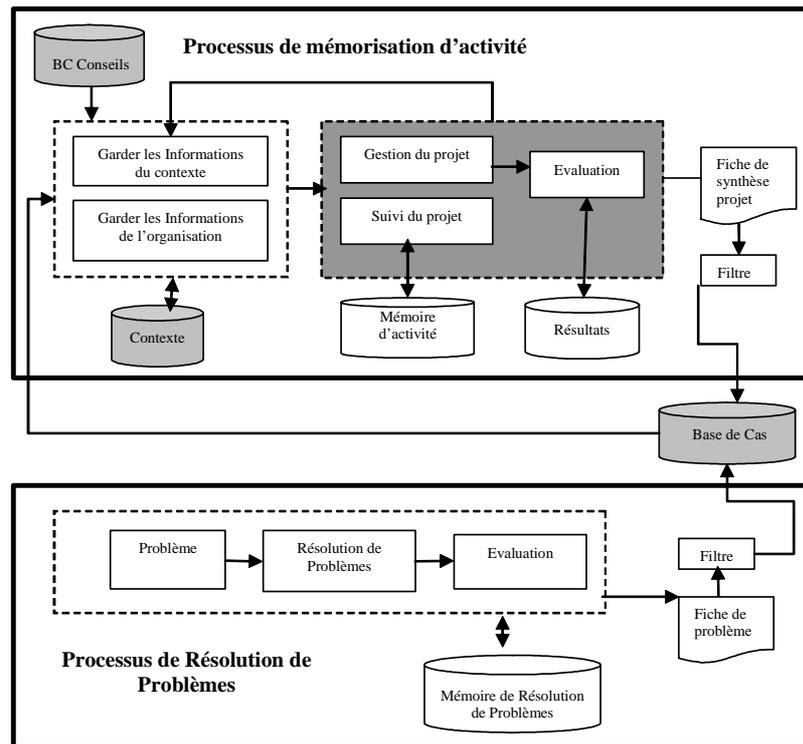


Figure 10. Schéma d'utilisation des connaissances

3.4. Conclusion

Après avoir situé nos travaux dans le domaine de l'ingénierie des connaissances (tableau 2), nous avons présenté la conception de deux SBC. Le premier est une réponse à la demande de conception d'un système de formation à la régulation de trafic, formulée par la CTPM. Une première expérience pédagogique, simulant l'apprentissage du jeu des Pokémon, avait permis de valider notre approche. Fort de cette première expérience nous avons proposé notre démarche à la société de transport. Les réponses spécifiques apportées à cette problématique de formation de régulateurs sont, d'une part, la prise en compte de la variété des situations de régulation, au travers de simulations à base de scénarios et de l'ouverture du système permettant l'enrichissement de la base de scénarios, et, d'autre part, un haut niveau d'interaction susceptible de capter la forte réactivité des régulateurs, indispensable pour minimiser les temps d'attente dans le contexte réel. La finalité du projet consiste ainsi à réaliser un système tutoriel intelligent basé sur une stratégie pédagogique de simulation, d'interaction et de coopération entre un agent pédagogique et un apprenant. La conception de ce tutorat intelligent repose sur la modélisation fine de connaissances en régulation de trafic, ce que nous avons rapporté ici. Au-delà du prototype réalisé, le principal gain pour la CTPM réside incontestablement dans le transfert d'expertise réalisé auprès d'un régulateur partant à la retraite ; ce qui a conduit à la conception de la BC du système.

Fort de cette expérience réussie, nous avons appliqué la même démarche pour l'élaboration de la BC des agents de l'application *SIMBADE* (cf. §4.2). Les connaissances modélisées avec *KOD*, à partir desquelles un agent de *SIMBADE* peut prendre des décisions, sont des connaissances déclaratives : les frames pour représenter les faits, les objets et leurs propriétés, les règles de déduction et d'action. L'expérience du projet de formation des régulateurs nous a aussi permis de répondre à une demande d'expertise formulée par les OPCARég³² Bourgogne et Franche-Comté (2003). Cette demande correspondait au besoin de création d'un système de

³² Organisme Paritaire Collecteur Agréé Régional

capitalisation d'expériences de conseillers-formateurs dont la mission principale consiste à favoriser la performance d'entreprise demandeuse en les accompagnant dans la gestion par la compétence. Avant cela, les connaissances accumulées et les solutions développées par chaque conseiller-formateur n'étaient que ponctuellement partagées. Cette étude nous a amené à spécifier, puis développer un prototype d'intranet de gestion de connaissances pour la capitalisation et l'enrichissement des compétences et des savoirs collectifs.

Les conclusions qui suivent s'ouvrent sur des applications coopératives. Aussi, en guise de perspective au projet *STI-Régul*, nous pensons intéressant de reprendre le contexte de l'étude réalisée par ([Brabant, 1998](#)) sur la résolution collective d'un problème de « délocalisation » dans le cadre plus large de la régulation du trafic impliquant la coopération active des agents engagés dans l'interaction, à savoir un régulateur, des chauffeurs de bus et un contrôleur.

Dans une deuxième illustration de nos travaux, nous avons rendu compte d'une expérience de mise en place d'un support pédagogique pour un groupement d'UV d'un département de Génie Informatique. La vocation principale de cet outil est d'améliorer la relation pédagogique enseignant/enseigné et d'accroître l'autonomie des étudiants en leur permettant d'être acteurs de leur formation. Un second objectif pour l'outil est d'offrir une véritable assistance à la gestion de projets d'étudiants sur une plate-forme d'apprentissage, dont la pédagogie est orientée projet (sensibilisation implicite à la gestion de projet). Il s'agit pour les étudiants de bénéficier d'un accompagnement de développement de projets et de suivi de planning, leur permettant d'ordonner dynamiquement les différentes phases du projet, allant du choix d'un sujet à l'élaboration par un travail collaboratif. Les contraintes d'utilisation sont fortes : un grand nombre d'étudiants et de projets, une grande diversité des contenus pédagogiques et une organisation sur deux sites géographiques.

Toute notre démarche a été mise en œuvre au sein de la formation d'ingénieurs de l'UTBM, notamment dans l'apprentissage d'UV traitant des concepts des systèmes d'exploitation centralisée, des architectures logicielles client/serveur et des systèmes à base de connaissances. Nous avons ainsi modélisé un procédé coopératif d'aide à la gestion de projets tutorés que nous avons intégré à *iPédagogique*. Nous avons expérimenté une solution web ouverte (pages html, formulaires, fonctions javascript et base de données) qui intègre des outils d'aide à la planification et des outils de communication (e-mail, forum). Nous bénéficions d'un retour d'expérience (entre 2001 et 2005) qui plébiscite l'usage des nouvelles technologies et de ces nouveaux procédés pédagogiques, tant du point de vue des apprenants que des enseignants (plus de 500 utilisateurs). L'expérimentation s'est poursuivie sur d'autres UV (Systèmes d'Information, Multimédia, Algorithmique et Programmation Orientée Objet). Le modèle pédagogique, qui se dessine, prend les contours d'une formation « nomade » avec toute la flexibilité que cela comporte : une formation à la carte, une plate-forme configurable.

Les perspectives qui se dégagent des travaux rapportés dans ce chapitre, outre une meilleure maîtrise des activités coopératives liées à la pédagogie de projets, sont : (1) l'enrichissement des connaissances et des compétences d'un système de médiation pour accroître son champ d'activité sur l'assistance aux prises de décisions coopératives et à l'animation de la coopération ; (2) l'utilisation des connaissances acquises ou mises à jour lors d'activités coopératives instrumentées pour notamment faciliter la réalisation des phases de synthèse d'une activité (évaluation, validation, rédaction de compte rendu d'activité, édition de dossier de spécifications, etc.) ; et (3) l'intégration de nouvelles dimensions coopératives utilisatrices ou productrices de connaissances, comme celles de conscience de groupe et de partage de contexte, appliquées à la réalisation de projets d'étudiants par exemple ; des perspectives directement issues du travail de thèse de Jing Peng, appliqué à l'architecture et à l'intégration système ([Meinadier, 2003](#)). Nous discuterons de ces perspectives dans le chapitre bilan de ce mémoire (cf. § 7.2).

« Contrairement à l'idée trop simple qui faisait de l'homme le seul être complexe, contrairement à l'idée plus libérale qui accordait la complexité au vivant face à la simplicité de la nature physique, la complexité est partout. »

Edgar Morin (1977).

CHAPITRE 4.

LA COMMUNICATION ENTRE AGENTS DANS LES SYSTEMES COMPLEXES

Le thème central de ce chapitre est « La communication entre agents logiciels et la communication mixte entre agents humains et logiciels ». Les études menées en TAL nous avaient déjà sensibilisé aux problématiques de la communication, notamment l'interprétation des messages, mais c'est à partir de nos travaux sur la conception de systèmes logiciels complexes³³ à base d'agents (Fougères, 2002 ; 2003), que nous avons véritablement commencé à nous intéresser à la problématique de la communication entre agents. Le chapitre est structuré en 4 sections. La première propose une brève présentation du paradigme agent, suivie par l'exposé de la problématique de la communication dans les systèmes complexes (SC), et s'achève par des propositions formulées pour nos projets de recherches. Les deux sections suivantes présentent deux de ces projets : (1) la conception et le développement de la communication entre agents d'un système de simulation et de détection d'épidémie ; (2) la conception et le développement de la communication dans un système de médiation intégré dans un atelier d'analyse fonctionnelle, à base de μ -outils. La dernière section propose une synthèse de ces recherches et l'énoncé de quelques perspectives pour nos travaux.

4.1. Introduction

Selon Morin (1977), le concepteur de SC « doit disposer d'une méthode qui lui permette de concevoir la multiplicité des points de vue, puis de passer d'un point de vue à l'autre ». Dans ce sens, Wooldridge (1997) et Jennings (2000) ont défendu l'idée que les agents constituent un nouveau paradigme pour l'ingénierie des SC ; ils apportent une réponse satisfaisante aux trois techniques usuelles de réduction de la complexité des logiciels que sont : la décomposition, l'abstraction et l'organisation. Jennings (2000) pose les deux hypothèses d'adéquation et d'établissement suivantes : (1) l'approche agent peut considérablement améliorer notre capacité à modéliser, concevoir et construire des systèmes logiciels complexes et distribués ; (2) en plus d'être apte à concevoir et construire des SC, l'approche agent est appelée à devenir un grand paradigme du génie logiciel. Ce point de vue est partagé par Ferber (1997) : « Gageons que, de même que les systèmes à objets ont envahi l'ensemble du champ informatique, la technologie multi-agents, pour l'instant encore très jeune, se répandra naturellement dans les applications dans les années à venir au fur et à mesure de la prise de conscience de la difficulté de réaliser des systèmes logiciels complexes et ouverts ». Nous

³³ Le terme « complexe » reprend ici la signification générale proposée par Simon (1969) : « En gros, j'entends par système complexe un système fait d'un grand nombre de composants ayant beaucoup d'interactions ». Les réflexions sur la notion de système complexe ont fait émerger le paradigme de l'Auto-Eco-Ré-Organisation computationnelle, informationnelle ou communicationnelle (Morin, 1977 ; Morin et Le Moigne, 1999), et son adéquation pour représenter le *Système de Traitement de Symbole*.

développons dans la suite ce que sont les systèmes à base d'agents, comment interagissent leurs composants (les agents) ; puis nous nous arrêterons sur la problématique de la gestion de ces interactions.

4.1.1. Le paradigme agent

Issus du domaine de l'IAD³⁴ ([Bond et Gasser, 1988](#) ; [Weiss, 1999](#)), les SMA, et avant eux le modèle d'acteur ([Hewitt et al., 1973](#)), ont pour principe de base la distribution des connaissances et des informations nécessaires à la résolution d'un problème sur un ensemble d'agents en interaction, capables de poursuivre et d'atteindre un but global. Un agent est une entité active, interactive et proactive d'un système. Il est souvent différencié selon sa nature cognitive (métaphore sociale) ou réactive (métaphore biologique) ; on parle aussi fréquemment de granularité des agents, selon leur degré de connaissances et de complexité fonctionnelle.

Un agent logiciel, au sens du modèle de Newell et Simon ([1972](#)), est un système autonome de traitement de l'information, c'est-à-dire composé de canaux récepteurs et émetteurs, d'un processeur de traitement et d'une mémoire (base de connaissances). Un système à base d'agents est une société d'agents autonomes travaillant en commun pour aboutir à un objectif global par interaction, communication ou transaction. Pour une première appréhension du concept d'agent, nous pouvons considérer qu'un agent est un système informatique situé dans un environnement qu'il peut percevoir, sur lequel il peut agir, éventuellement entouré d'autres agents avec lesquels il peut interagir, et ceci de manière autonome³⁵ ([Jennings, 2000](#)).

Les applications typiques des SMA sont : (1) la simulation de phénomènes complexes, (2) la résolution de problèmes et (3) la conception de programmes. On trouvera dans ([Mandiau et al., 2002](#) ; [Monostori et al., 2006](#)) de nombreux exemples d'applications des SMA dans les entreprises (intelligence économique, aide à la décision, simulation de trafic, conception de produit, ordonnancement d'atelier,...) ou dans la vie courante (commerce électronique, recherche d'information sur internet, jeux, ...). Les travaux sur les SMA sont innombrables – la communauté « agent » française est elle-même très active³⁶ – nous n'en proposerons donc qu'une vision synthétique selon quatre points de vue : le concept d'agent, les interactions entre agents, l'organisation des SMA et la conception des systèmes coopératifs à base d'agents.

4.1.1.1. Le concept d'agent

Il existe de nombreuses définitions du paradigme agent, appuyées par des propositions de typologies ([Nwana, 1996](#) ; [Shen et al., 2001](#)), mais de nouveaux types d'agents continuent d'émerger ([Tweedale et al., 2007](#)). Il est donc difficile d'établir un consensus ; nous préférons alors citer les deux définitions ayant le plus inspiré les prémisses de nos travaux :

- Pour Ferber ([1997](#)), « *on appelle agent une entité informatique qui : (1) se trouve dans un système informatique ouvert comprenant un ensemble d'applications, de réseaux, et de systèmes hétérogènes, (2) peut communiquer avec d'autres agents, (3) est mue par un ensemble d'objectifs propres (c'est en ce sens que l'on peut parler d'agent intentionnel), (4) possède des ressources propres, (5) ne dispose que d'une représentation partielle des autres agents, (6) possède des compétences (services) qu'elle peut offrir aux autres agents, (7) a un comportement tendant à satisfaire ses objectifs, en tenant compte d'une part des ressources et des compétences dont elle dispose, et d'autre part de ses propres représentations et des communications qu'elle reçoit.* »

³⁴ Intelligence artificielle distribuée : métaphore des phénomènes intelligents collectifs. Nos travaux portant sur les SMA, nous n'aborderons pas les techniques inspirées des systèmes biologiques.

³⁵ L'autonomie est pour nous la principale caractéristique d'un agent, relativement à l'objet. Elle est concrétisée par : (1) un processus informatique indépendant, (2) une mémoire individuelle (connaissances/données), et (3) une aptitude à interagir (perception/réception, émission/action).

³⁶ En témoignent les 17 éditions des Journées Francophones des Systèmes Multi-Agents (JFSMA).

- Pour Wooldridge (1997), un agent possède les propriétés d'autonomie, de réactivité, de pro-activité et de sociabilité : « *Un agent intelligent est réactif car il est en mesure de percevoir l'environnement, de réagir aux modifications de celui-ci dans un intervalle de temps acceptable et d'en tenir compte dans ses objectifs. Un agent est proactif car il exhibe un comportement qui tend à satisfaire ses objectifs en prenant des initiatives. Un agent a une dimension sociale, il interagit avec d'autres agents ou des utilisateurs.* »

Au travers de ces définitions nous constatons que trois fonctions caractérisent l'activité d'un agent : percevoir, décider, agir. Un agent possède ses propres connaissances, classées généralement en trois catégories : des connaissances sur un domaine (compétences), des connaissances de contrôle pour maîtriser son activité (agenda de tâches) et des connaissances pour interagir avec son environnement et les autres agents (langage et protocole de communication, accointances). Il se comporte de façon autonome pour raisonner ou pour décider de ses actions en fonction de ses objectifs, de ses interactions avec les autres agents du système et de sa perception de l'environnement. Par extension, et en considérant plus spécifiquement les agents cognitifs³⁷, les chercheurs du domaine s'accordent généralement sur les caractéristiques suivantes : intentionnalité, rationalité, engagement, adaptabilité et « intelligence » (Labidi et Lejouad, 1993). Les SMA sont alors des systèmes qui permettent de distribuer des agents, entités communicantes, autonomes, réactives, dotées de compétences et finalisées³⁸. Ils forment des réseaux de solveurs intelligents (les agents) faiblement liés, qui travaillent ensemble pour résoudre des problèmes dépassant leurs capacités et leurs connaissances individuelles (Jennings et al., 1998).

Parmi les propositions d'architectures d'agents ayant une orientation cognitive, le modèle BDI³⁹ est le plus connu. Il est construit autour de trois concepts, inspirés des modes de comportements humains : (1) les croyances, basées sur les connaissances de l'agent ; (2) les désirs, correspondant aux connaissances que l'agent souhaiterait avérer, et (3) les intentions, ou actes que l'agent décide de faire (Rao et Georgeff, 1995). Ainsi, un agent qui a un désir, peut le transformer en intention lorsqu'il sait qu'il peut le réaliser ; il ne lui reste alors qu'à agir !

4.1.1.2. Interactions entre agents

Communication et interaction sont étroitement liées, voire interdépendantes : « *Les communications, dans les systèmes multi-agents comme chez les humains, sont à la base des interactions et de l'organisation sociale* » (Ferber, 1997). En suivant les définitions proposées pour le dialogue homme-machine (Caelen et Xuereb, 2007), il est possible de distinguer ces deux notions de la façon suivante : l'*interaction* est un échange entre des agents et leur environnement ; cet échange dépend des propriétés intrinsèques du monde dans lequel les agents s'activent ; la perception de l'agent peut-être passive (ou subie) par réception de messages/signaux, ou active, lorsqu'elle est le résultat d'une action volontaire ; la *communication* est un échange entre des agents eux-mêmes, au moyen d'un langage.

Le modèle de communication entre agents se caractérise par : (1) un mode de communication, (2) un langage commun, et (3) un protocole de communication⁴⁰ (Tacla, 2003). Koning et Pesty (2001) distinguent deux modes de communication entre agents : (1) la communication indirecte (implicite, non adressée) par l'intermédiaire d'un support commun aux agents (environnement ou structure de données partagées) ; et (2) la communication directe (explicite, intentionnelle, adressée) par l'intermédiaire d'un mécanisme liant directement les agents (envoi de message, diffusion généralisée ou restreinte). Dans le cas du dialogue, les traits caractéristiques des interactions conversationnelles sont (Lemeunier, 2000) : une représentation du participant, de

³⁷ En effet, dans les systèmes réactifs, l'intelligence émerge des interactions d'un grand nombre d'agents ne disposant d'aucune intelligence, ce qui n'est pas notre propos ici.

³⁸ Entité (système finalisé) cherchant un itinéraire qui lui permette d'atteindre un but (Simon, 1969).

³⁹ *Belief, Desire, and Intention*.

⁴⁰ Ce qui correspond sensiblement au triple problème *ICT* : (1) *interaction protocol*, (2) *communication language*, et (3) *transport protocol* (Labrou et al., 2001).

son interlocuteur et d'un terrain commun (connaissances, hypothèses et croyances partagées). Ajoutons qu'au concept d'interaction sont associés les concepts de protocoles et de schémas d'interactions, permettant de spécifier comment et avec qui un agent peut interagir – une ingénierie a ainsi été proposée ([El Fallah-Seghrouchni et al., 2001](#) ; [Huget, 2001](#)). La spécification de l'interaction distingue différents niveaux d'interaction, micro ou macro par exemple ([Bonabeau et Theraulaz, 1994](#)). Comme dans le cas de la communication humaine, Les interactions communicationnelles entre agents peuvent évidemment s'enchaîner et produire des échanges ou des dialogues ([Brassac et Pesty, 1999](#) ; [Koning et Pesty, 2001](#) ; [Bentahar et al. 2006](#)).

Pour Brassac et al. ([1996](#)) la notion d'interaction se répartit en deux catégories : (1) l'interaction faible, correspondant à des relations d'« action-influence unidirectionnelle » – un agent qui agit « en direction » des autres ; et (2) l'interaction forte, correspondant à des relations de « co-action-influence mutuelle ». Notons néanmoins que si un agent interagit avec les autres agents de sa communauté, c'est parce qu'il dépend d'eux pour réaliser ses buts. On ne peut alors que relativiser son caractère autonome, bien qu'il prenne seul ses décisions. A cela s'ajoutent les considérations pragmatiques de la communication ([Grice, 1975](#) ; [Sperber et Wilson, 1995](#) ; [Dessalles, 2008](#)), discutées un peu plus loin, qui stipulent que pour s'assurer d'une bonne intercompréhension les agents doivent être clairs, honnêtes, efficaces, non vains et pertinents.

Dans la plupart des SMA, le comportement d'un agent en interaction est composé de trois phases : (1) la réception d'informations provenant d'un autre agent ou la perception d'un changement de son environnement ; (2) l'interprétation de cet événement tenant compte des autres agents ; (3) l'émission d'un message ou la réalisation d'une action modifiant l'environnement. Si les interactions entre agents sont fréquemment communicationnelles, elles concernent aussi la coopération et la coordination d'actions.

- Les modèles de coordination orientée agent se focalisent sur le comportement des agents afin d'aboutir à un système coordonné ([Zargayouna, 2007](#)). El Fallah-Seghrouchni ([2001](#)) classe les approches de coordination dans les SMA en six catégories : (1) la résolution distribuée de problèmes, (2) la structuration organisationnelle, (3) les protocoles, (4) la négociation, (5) la formation de coalitions, et (6) la planification multi-agent.
- La négociation, permettant à un groupe d'agents de prendre des décisions collectives, est un bon exemple d'interactions complexes entre agents. Pour qu'un agent mène à bien une négociation, il est nécessaire qu'il suive un protocole, comportant plusieurs actions minimales sur les solutions envisagées (proposition, évaluation, modification, acceptation, contre-proposition, refus), ceci dans le but de faciliter l'émergence d'une solution commune ([Davis et Smith, 1983](#)). Par ailleurs, Baker ([1994](#)) a identifié certaines formes de régularité dans les situations de négociation, notamment dans les dialogues pédagogiques de type *professeur-élève* ou *élève-élève*. La négociation entre agents reste cependant un problème complexe : un agent peut être plus ou moins coopératif ou compétitif, au regard des objectifs qu'il cherche à atteindre ; dans le cas de sociétés complexes, son comportement coopératif et donc son attitude de négociation peut s'apparenter à une fonction non linéaire ([Zhang et al., 2003](#)). Pour une présentation détaillée des stratégies et des protocoles de négociation (argumentation, vote, enchères, *Contract Net*) nous renvoyons aux états de l'art réalisés dans ([Jennings et al., 2001](#) ; [Verrons, 2004](#)).

4.1.1.3. L'organisation dans les systèmes d'agents

Les travaux en sociologie ou en science des organisations ont toujours intéressé la communauté SMA, comme source de modélisation ([Zambonelli et al., 2001](#) ; [van Aart, 2005](#)) ; l'échelle des types de configurations organisationnelles de Mintzberg ([1979](#)), allant de la structure hiérarchique (centralisation), à la bureaucratie professionnelle (décentralisation), en passant par l'« adhocratie » (ajustement mutuel entre les groupes), en est un exemple.

Les problèmes inhérents à la connaissance partielle des agents, à la poursuite d'objectifs locaux ou à l'entrelacement des activités des agents, nécessitent le développement de

mécanismes élaborés de coordination ([El Fallah-Seghrouchni, 2001](#)). L'organisation doit permettre à un SMA de se comporter comme un tout cohérent, pour résoudre un problème de façon univoque ; apporter une aide à la gestion de crises par exemple ([Rousseaux et Lhoste, 2008](#)). Elle contrôle et coordonne les interactions entre les agents du système, structurant ainsi leurs activités. Ferber ([1997](#)) distingue la « structure organisationnelle » et l'« organisation », correspondant au processus de conception de la structure :

- une structure organisationnelle de système d'agents est définie par un ensemble d'agents caractérisés par des rôles (souvent prédéfinis), et par un ensemble de relations entre ces rôles, définissant des modes de coopération (équipe fixe, structure variable-égalitaire-émergente, appel d'offre ou structure évolutive) ;
- une organisation est définie selon un point de vue social, relationnel, physique, environnemental ou personnel.

4.1.1.4. La conception de systèmes multi-agents

La conception d'un SMA, souvent discutée d'un point de vue processus ou méthodologique ([Bergenti et al., 2004](#) ; [Cernuzzi et al., 2005](#) ; [Biswas, 2008](#)), suppose d'adopter une vision locale, pour respecter le fait que chaque agent est responsable de ses connaissances et de ses actions (autonomie des agents), souvent décentralisées. Pour mieux appréhender la quantité et la diversité des méthodologies de conception orientées agent, Sudeikat et al. ([2005](#)) ont proposé une généalogie de ces méthodologies, comportant quatre branches : (1) les méthodologies orientées objet, telles GAIA ([Wooldridge et al., 2000](#)), MaSE ([DeLoach et al., 2001](#)) ou AOR ([Wagner, 2003](#)) ; (2) les méthodologies de l'ingénierie des connaissances, telle CoMoMAS ([Glaser, 2002](#)) ; (3) les méthodologies de l'ingénierie des besoins, telle Tropos ([Bresciani et al. 2004](#)) ; et (4) les méthodologies inspirées de sources variées, telle Prometheus ([Padgham et Winikoff, 2004](#)), ou encore l'approche Voyelles ([Demazeau, 2001](#)) qui propose de concevoir un SMA selon quatre dimensions (A, E, I, O)⁴¹. Les langages supports de la conception des SMA sont eux aussi nombreux – Huget ([2001](#)) en établit une intéressante comparaison. Nos travaux de modélisation agent font principalement référence au langage AUML (*Agent Unified Modelling Language*) ([Odell et al., 2000](#) ; [Bauer et Odell, 2005](#)).

A partir de *CommonKADS*, six modèles peuvent être utilisés pour proposer une méthodologie de conception de SMA ([Huget, 2001](#)) : un *modèle agent*, pour définir les caractéristiques d'un agent ; un *modèle de tâche*, pour représenter les tâches réalisables par les agents ; un *modèle d'expertise*, pour décrire les connaissances des agents ; un *modèle de coordination*, pour définir les protocoles et les interactions entre agents ; un *modèle d'organisation*, pour décrire l'organisation de la société d'agents ; et un *modèle de communication*, pour décrire les interactions entre les agents et les utilisateurs (interfaces utilisateurs).

Dans ([Fougères, 2003](#)) nous avons proposé une méthode de conception de SMA en quatre phases : (1) réaliser les diagrammes de cas d'utilisation (services rendus par le SMA) ; (2) pour chaque cas d'utilisation, réaliser les diagrammes de séquence précisant les interactions (échanges de messages et ordonnancement) entre les agents concernés par ces cas de référence ; (3) à partir des diagrammes de séquence, qui ont permis d'identifier les agents, les objets du système et leurs interactions, réaliser le diagramme de classe : les objets sont associés à des classes, les messages échangés (demandes de services entre objets) sont traduits par des opérations sur les classes, les paramètres associés aux opérations sont traduits en attributs des classes – on peut éventuellement compléter ce diagramme par un diagramme de collaboration ; (4) à partir du diagramme de classe, définir le comportement de chaque agent (classe agent) au moyen d'un diagramme d'états ou d'activités. La description

⁴¹ *Agent* : définition des entités agissantes (architectures internes, connaissances, ...) ; *Environnement* : structuration des interactions avec les entités externes (dynamique de l'environnement, action, perception, ...) ; *Interaction* : spécification des interactions entre agents (langage, protocole d'interaction, ...) ; et *Organisation* : structuration des agents (organisation, réseaux de dépendance, ...).

des rôles joués par les différents agents coopératifs reste sommaire puisque la notion de rôle, absente d'UML, ne fait l'objet que de quelques modestes extensions en AUML ([Bauer et Odell, 2005](#)). Elle porte principalement sur les diagrammes de collaboration et de séquence.

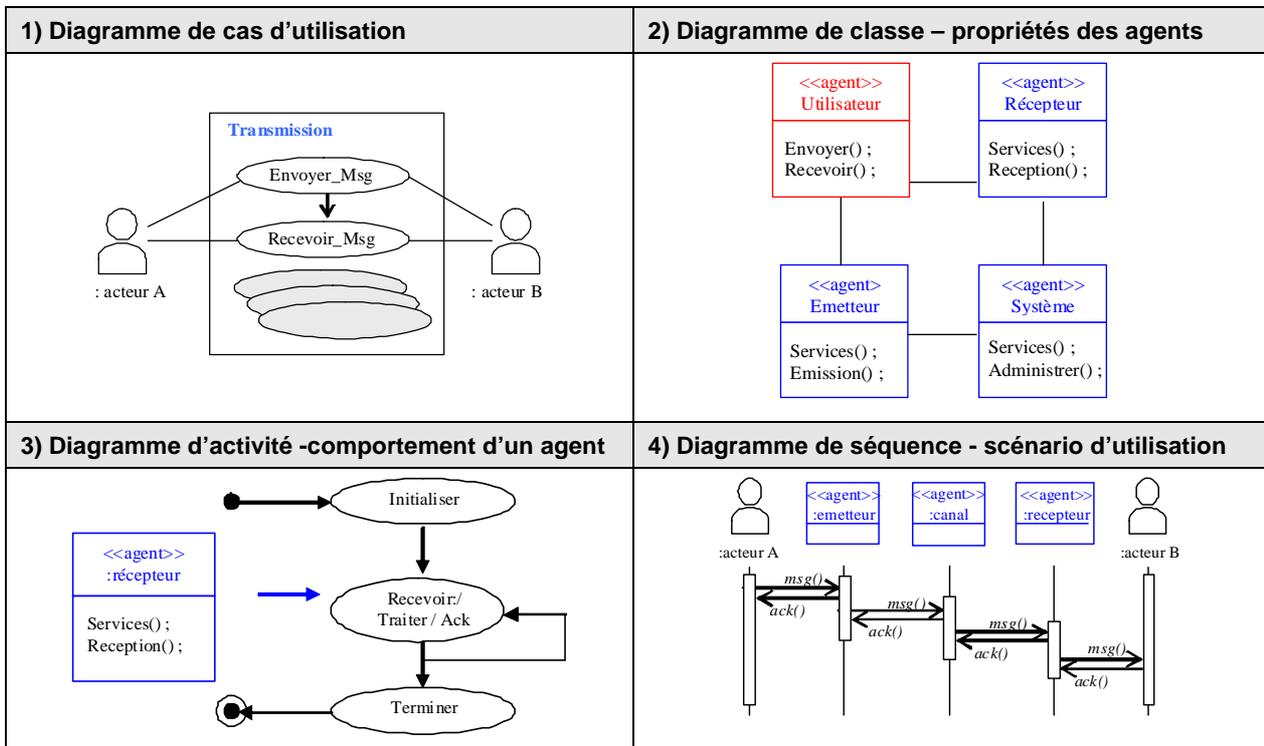


Figure 11. Méthodologie de conception agent, illustrée pour une « Transmission de message ».

Les recherches, décrites dans ([Fougères, 2002](#)), sont à la base de la conception de la plate-forme *Piranhas*⁴². Les principales caractéristiques de cette plate-forme sont : une architecture micro-noyau, une conception orientée *design patterns*, une structuration des agents en groupes et rôles, et un modèle d'exécution basé sur la programmation événementielle.

4.1.2. La communication dans les systèmes logiciels complexes

A priori, communiquer est un acte banal : c'est la transmission d'une information d'un émetteur A à un récepteur B par le biais d'un canal C ([Shannon, 1948](#)). Mais, soixante ans de recherches sur la communication nous ont appris le contraire. Les messages que nous envoyons sont rarement clairs et univoques. Le récepteur ne se contente pas d'enregistrer les données transmises : il les filtre, les transforme. Le canal et le contexte à leur tour interviennent sur le contenu du message. La communication est donc rarement transparente.

Depuis les travaux théoriques de Shannon, de nombreuses propositions sont venues enrichir les modèles classiques de la communication (encodage/envoi, réception/décodage) : la théorie des actes de langage ([Austin, 1979](#) ; [Searle, 1969](#) ; [Searle et Vanderveken, 1985](#)), la dialogisation de l'échange avec la logique interlocutoire ([Brassac, 1994](#)), entre autres. Ces nouveaux modèles ont fortement influencé le cadre communicationnel entre agents (humain/artificiel ou artificiel/artificiel). Du côté des sciences de la communication, il existe un ensemble conséquent de théories de référence : la linguistique et ses dérivés (pragmatique, rhétorique, sémiologie), l'école de Palo Alto et la communication paradoxale, la sociologie des médias, l'anthropologie des rites d'interaction, l'analyse de conversation, la dynamique de groupe, la programmation neurolinguistique et l'analyse transactionnelle ([Lonchamp, 2003](#)).

⁴² Plate-forme développée par Sébastien Pierre et Patrice Jacquot, élèves Ingénieur à l'UTBM (2001-03).

4.1.2.1. Caractérisation de la communication

D'un point de vue étymologique, communiquer c'est mettre en commun. Pour qu'une information soit mise en commun, il faut que les deux termes de la communication partagent un même code et qu'ils aient une intention de communication. D'un point de vue pragmatique, l'interaction entre individus fonctionne selon deux principes d'intercompréhension : la réciprocité des perspectives et la réciprocité des motivations ([Caelen et Xuereb, 2007](#)). Ainsi, pour Wolton ([1997](#)) « L'information c'est le message, la communication c'est la relation ».

Selon Vygotski ([1978](#)), un acte de communication entre un locuteur *A* et un auditeur *B*, se schématise par : pour *A*, énonciation (processus de la pensée au langage), puis transmission ; pour *B*, réception puis compréhension (processus du langage vers la pensée). De nombreux autres modèles de la communication, faisant suite aux modèles codiques se référant au modèle de Shannon et Weaver, ont été proposés. Parmi les plus représentatifs, le modèle « ostensif-inférentiel » de Sperber et Wilson ([1995](#)) et les modèles coopératifs de la communication ([Clark et Schaeffer, 1989](#) ; [Brassac et Trognon, 1992](#)).

- Pour Sperber et Wilson ([1995](#)), prolongeant le principe de coopération et les maximes⁴³ énoncés par Grice ([1975](#)), un individu qui désire réaliser une communication doit produire un minimum d'indices (verbaux ou non) à son interlocuteur pour que ce dernier puisse comprendre son intention avec un minimum d'effort ; c'est le « principe de pertinence ». La pertinence est au cœur de la communication humaine : « *Nous parlons pour être pertinent, et nous jugeons constamment la pertinence des propos d'autrui* » ([Dessalles, 2008](#)). Sperber et Wilson ont aussi souligné la nature inférentielle de la communication : un énoncé suscite toujours des inférences, dont certaines ne sont pas forcément prédictibles.
- La communication est un processus collaboratif dans lequel les interlocuteurs co-construisent le sens de l'énoncé (intercompréhension). Pour Clark et Schaeffer ([1989](#)) chaque contribution à un dialogue est constituée de deux phases : (1) la *présentation*, dans laquelle un locuteur *A* présente un énoncé *e* à la considération de son auditeur *B* ; (2) l'*acceptation*, dans laquelle *B* accepte l'énoncé *e* en donnant la preuve *p* qu'il a compris ce que *A* signifie par *e*. L'interlocuteur a cinq façons pour prouver sa compréhension : l'attention continue, l'initiation pertinente de la contribution suivante, l'accord, la démonstration (paraphrase) et la répétition. Dans le même ordre d'idée, Trognon et Brassac ([1992](#)) postulent que la valeur communicationnelle d'un message est incertaine au moment de son énonciation : c'est l'auditeur, par sa réponse, qui permet le succès de l'acte de langage (approche interactionniste). Un énoncé est alors porteur d'un potentiel de sens que les interlocuteurs vont négocier jusqu'à ce qu'ils pensent avoir obtenu un sens commun. Les auteurs proposent, comme modèle de la conversation, la logique interlocutoire, dialogisation de la logique illocutoire formalisée par Vanderveken ([1990](#)).

La communication est étroitement liée au niveau « connaissance ». Si elle repose sur l'existence de connaissances partagées, elle contribue aussi à leur accroissement. Cette extension de connaissances se fait le plus souvent par négociation entre les interlocuteurs (consensus sur les nouvelles connaissances). Ajoutons à cela, que la communication, en tant qu'activité coopérative, exige une coordination, notamment pour gérer les tours de paroles des participants à la conversation ; c'est le « principe coopératif » de Grice ([1975](#)).

4.1.2.2. Les actes de langage

En philosophie du langage, Austin ([1979](#)) a proposé le concept d'*acte de langage* comme unité de base de la communication. Il ne s'agit plus seulement de considérer la vérité d'un énoncé, mais aussi l'effet produit par celui-ci sur le destinataire : la communication est un moyen d'agir sur l'environnement et sur autrui. Cinq catégories d'actes de langage sont proposées ([Searle,](#)

⁴³ Grice a proposé 4 maximes pour l'intercompréhension : (1) la maxime de qualité (sincérité des participants), (2) la maxime de quantité (caractère informatif des participations), (3) la maxime d'intérêt (pertinence des participations), et (4) la maxime de manière (clarté, brièveté et ordre des participations).

[1979](#)) : (1) les *assertifs* (« Affirmer », « Informer », « Confirmer », etc.), donnant une information ; (2) les *directifs* (« Demander », « Ordonner », etc.), obligeant le destinataire ; (3) les *promissifs* (« Promettre », « S'engager », etc.), engageant le locuteur ; (4) les *expressifs* (« S'excuser », « Enoncer des regrets », etc.), exprimant l'état mental du locuteur ; et (5) les *déclaratifs* (« Marier », « Ouvrir une séance », etc.), accomplissant un acte.

Prolongeant les travaux d'Austin, Searle ([1969](#)) postule que toute verbalisation (acte locutoire) est associée à une intention préalable d'action (acte illocutoire⁴⁴) qui peut réussir si l'acte locutoire respecte des conditions de succès ([Vanderkeven, 1990](#)). Une conversation est alors définie comme une séquence d'actes de trois natures : (1) des actes propositionnels exprimant des faits ; (2) des actes illocutoires exprimant une intention ou un engagement ; et (3) des actes perlocutoires provoquant un changement de comportement des interlocuteurs. Cette théorie a inspiré de nombreux travaux sur la communication en IAD :

- Cohen et Levesque ([1990](#)) privilégient le concept d'intention dans la communication. Pour qu'une communication entre agents soit réussie, ceux-ci doivent reconnaître mutuellement les intentions et les plans de chacun des agents communicants.
- De nombreux langages d'interaction, tels *KQML*⁴⁵ ([Labrou et al., 1999](#)), *ACL*⁴⁶ ou *AgentSpeak* ([Bordini et Moreira, 2004](#)), sont basés sur les actes de langage. Un dialogue entre agents, qui ne partagent pas nécessairement le même langage, y correspond à un ensemble d'échanges de messages déclaratifs. De nombreuses difficultés restent encore à lever pour proposer une sémantique satisfaisante à ces langages ([Veira et al., 2007](#)).

Les effets d'un acte de communication sur l'auteur et le destinataire, dépendent de leur état mental avant l'acte. Sadek ([1996](#)) propose une formalisation du *comportement coopératif* (et donc communicatif) d'agents en termes de propriétés reliant entre elles des attitudes mentales primitives : la croyance, l'incertitude et le choix. Sadek rejoint Grice ([1975](#)) : le comportement coopératif est bien un préalable pour des interactions réussies entre agents.

4.1.2.3. La communication médiatisée par la machine

Dans le projet de CHM, l'être humain est considéré en interaction naturelle avec la machine ; la machine doit s'adapter à ses modes de communication ([Caelen et Xuereb, 2007](#)). On peut toutefois être surpris par le fait que les modèles de dialogue restent souvent des modèles *ad hoc* à un système, à un métier, à un mode de communication ou à un type de langage ([Vilnat, 2005](#)). Cela pose des problèmes de ré-utilisabilité lors de la définition de nouveaux systèmes. La communication artificielle intègre aussi la communication homme-homme médiatisée par la machine et toutes les formes mixtes de communications. Chicoisne ([2002](#)) s'est ainsi intéressé à la communication dans les communautés mixtes composées d'agents artificiels et humains. Problématique que nous retrouverons dans la deuxième application de ce chapitre (*cf.* §4.3).

La médiatisation des interactions permise par les TIC (directe, indirecte, synchrone ou asynchrone) modifie les usages et offre de nouvelles perspectives, notamment pour l'instrumentation d'activités collectives réalisées par des acteurs distants. Ainsi, nos travaux sur la modélisation d'activités coopératives ont considéré trois niveaux de communication : (1) une communication naturelle (pour la coopération dans des groupes d'acteurs humains), (2) une communication semi-naturelle (pour la coopération homme-machine), et (3) une communication artificielle (pour la coopération entre agents artificiels).

4.1.3. Comment gérer les interactions entre agents de systèmes complexes ?

Un SC est « fait d'un grand nombre de composants ayant beaucoup d'interactions » ([Simon, 1969](#)). La conception de SC tels que les systèmes coopératifs ou d'assistance, comprend alors

⁴⁴ Un acte illocutoire (noté $F(p)$) est défini par sa *force illocutoire* F et par son *contenu propositionnel* p .

⁴⁵ *Knowledge Query and Manipulation Language*.

⁴⁶ *Agent Communication Language*, proposé par la FIPA (*Foundation of Intelligent Physical Agents*).

une modélisation très précise des niveaux interactionnel et communicationnel. L'approche multi-agents offre un niveau d'abstraction adapté à cette problématique ([Wooldridge, 2002](#)).

Après avoir étudié le contexte organisationnel des SMA, pour la simulation de la réorganisation d'un atelier flexible et la régulation d'un système de transport urbain, nous nous sommes concentrés sur la modélisation d'agents ayant de fortes capacités communicatives, pouvant être retenus comme éléments de base pour la conception de systèmes d'assistance à l'utilisateur de SC. Nos réflexions sur ce niveau interactionnel ont été nourries par des modèles issus du domaine des interfaces homme-machine, en particulier ceux de l'approche « cognitive engineering » ([Card et al., 1983](#) ; [Rasmussen, 1987](#)). Nous avons alors proposé un modèle d'agents et défini leur modèle de communication ([Fougères 2003](#) ; [Ostrosi et Fougères, 2009](#)).

4.1.3.1. Système complexe : une approche systémique

Considérons une stratégie d'organisation de SC, centrée sur la notion de réactivité, dans laquelle le degré d'autonomie et de flexibilité des acteurs augmente. Ceci se traduit par une distribution de la prise de décision et donc par un rapprochement des structures décisionnelle et physique ([Crozier et Friedberg, 1977](#)). Cette stratégie d'organisation est de ce fait particulièrement adaptée aux SI complexes et distribués. Le schéma classique O IDC⁴⁷ de modélisation systémique ([Le Moigne, 1990](#)), intégrant un système de connaissance pour gérer la circulation des connaissances ([Ermine, 2003](#)), en est une illustration.

À partir des travaux menés par Ouzrout et al. ([1996](#)), fondés sur l'analyse modulaire des systèmes ([Mélèse, 1991](#)), nous nous sommes intéressés à la construction d'une démarche formelle pour la modélisation d'organisations de SIC ([Fougères, 2002](#) ; [2003](#)). Un modèle unique sert à représenter à la fois l'activité (centre d'activité) et le comportement décisionnel des acteurs (centre de décision). Ceci permet d'identifier les différents composants de l'organisation et de décrire les phénomènes de prise de décision dans une activité cognitive⁴⁸ (le processus produisant des actions consécutives à des événements perçus) :

Activité ::= [Perception → Interprétation/Décision → Action] (4.1)

4.1.3.2. Système d'information complexe : une modélisation à base d'agents

L'approche formelle que nous suivons pour modéliser et concevoir les SC consiste à définir l'architecture modulaire des agents, à définir leur modèle de communication et de connaissance, et à adopter une méthodologie rigoureuse d'acquisition de leur expertise. Un SMA s est alors décrit par le quadruplet :

$s = \langle A_s, I_s, R_s, O_s \rangle$ (4.2)

où A_s est l'ensemble des agents de s ; I_s l'ensemble des interactions définies ; R_s l'ensemble des rôles que les agents de s peuvent jouer ; et O_s l'organisation des agents dans s .

De nombreuses structures d'agents, inspirées du cycle de Neisser ([1976](#)) (percevoir, décider, agir), ont été proposées ([Labidi et Lejouad, 1993](#)). Notre modèle est davantage inspiré par le modèle de l'opérateur à trois niveaux de Rasmussen ([1983](#)) : (1) comportement réflexe, (2) comportement à base de règles (analogue à celui des SE), et (3) comportement à base de connaissances (l'opérateur peut réagir dans une situation nouvelle). Nous l'avons interprété

⁴⁷ Ce schéma est composé de quatre systèmes : (1) un système *opérant* (O), (2) un système *d'information-mémorisation* (I), (3) un système de *décision* (D), et (4) un système de *connaissances* (C), ensemble de flux créant des interrelations actives avec les autres sous-systèmes – les flux de compétences (production de connaissances) et les flux de cognition (activités de cognition).

⁴⁸ Neisser (1976) a proposé un modèle cyclique décrivant la relation entre la cognition et la perception : le savoir d'une personne dirige ses actions, qui permettent l'exploration du monde extérieur, dont la perception modifie en retour le savoir de la personne, et ainsi de suite. Gutwin et Greenberg (1999) ont précisé ce modèle en y distinguant trois étapes : (1) la perception des éléments de l'environnement ; (2) la compréhension de la situation courante ; et (3) la prédiction du futur état de l'environnement.

comme modèle de processus⁴⁹ de nos agents. Ils ne sont pas spécifiquement cognitifs ou réactifs⁵⁰ ; ils ont des comportements adaptés aux tâches qu'ils réalisent (figure 12). Nous avons ajouté un étage à cette échelle pour y intégrer des comportements basés sur un système d'agents coopératifs. Nous appelons *acteur* un système d'agents dans lequel le comportement est défini par des tâches de décision collective et de coordination d'actions. Un tel acteur sera spécifié dans le chapitre 6 pour concevoir un système de médiation coopérative.

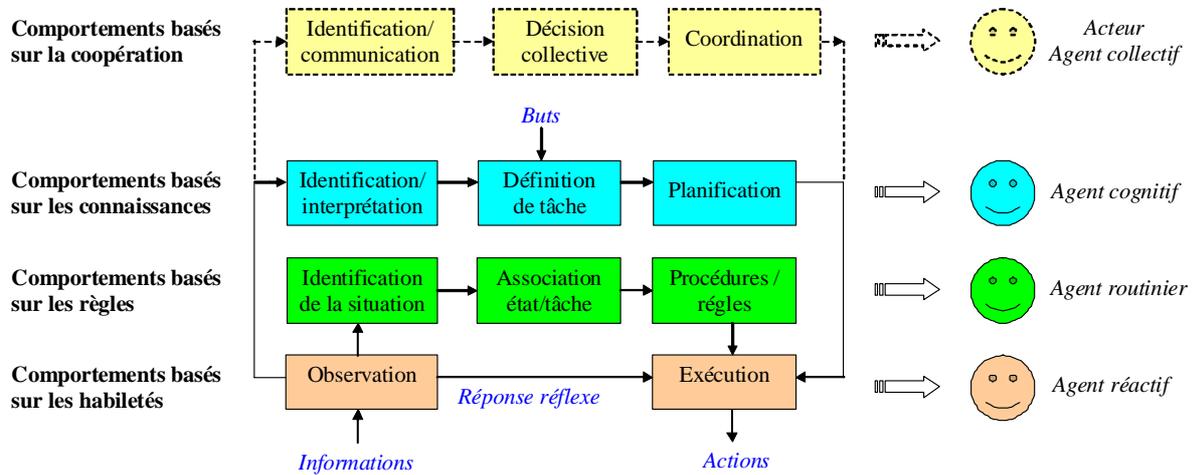


Figure 12. Variabilité du comportement des agents selon le modèle de Rasmussen.

Les agents que nous avons conçus dans nos différents projets (tableau 3), dont les comportements sont proposés dans la figure 13, peuvent réaliser des actions réflexes (automatiques) ou routinières, et des actions dans des situations nouvelles (créatives et coopératives). Ces modèles s'inspirent du caractère basiquement séquentiel du système cognitif humain (sérialisation au niveau symbolique), n'excluant pas un certain degré de parallélisme dans le traitement des signaux sensori-moteurs (Simon, 1969). Ainsi, un agent *a*, capable d'évoluer au niveau 3 de Rasmussen⁵¹, est décrit par le quintuplet suivant :

$$a = \langle O_a, I_a, D_a, A_a, M_a \rangle \quad (4.3)$$

où O_a est la fonction d'observation de l'agent *a* ; I_a , sa fonction d'interprétation des événements observés ; D_a , sa fonction de décision ; A_a , l'ensemble des actions qu'il peut réaliser ; et M_a , l'ensemble des connaissances contenues dans sa mémoire (BC statique et connaissances dynamiques : événements observés, états internes, etc.).

Agents réflexes (niveau 1)	Agents routiniers (niveau 2)	Agents cognitifs (niveau 3)	Acteurs (niveau 4)
SimbadeSimulation-Agent	PLACID-Agent MO-Agent Médiateur-Agent APIC-Agent	Régulateur-Agent SimbadeDécision-Agent BornelInformation-Agent AssistantGP-Agent	Médiateur-Acteur

Tableau 3. Classification des types d'agents conçus, selon l'échelle de la figure 12

⁴⁹ Nous défendons donc une approche multi-niveaux du modèle cognitiviste (représentationnel) : représentation, évaluation/interprétation/croyance, calcul/computation, conscience ; la conscience étant ici considérée comme la possibilité d'une représentation auto-référée de l'activité d'un agent.

⁵⁰ De nombreux auteurs opposent une approche causale, dans laquelle l'agent réagit à l'environnement (stimulus/réponse), à une approche téléologique (intentionnelle), dans laquelle l'agent est mû par une motivation et utilise les ressources de l'environnement pour atteindre ses buts (proaction). Sans parler de continuum, nous pensons que ces deux approches sont confondues dans le comportement de l'agent.

⁵¹ Nous nous intéresserons ici à l'architecture des agents du niveau 3 cognitif ; dans le chapitre 7 (bilan), nous décrirons l'architecture de niveau inférieur, instanciée dans l'application APIC, plus récente.

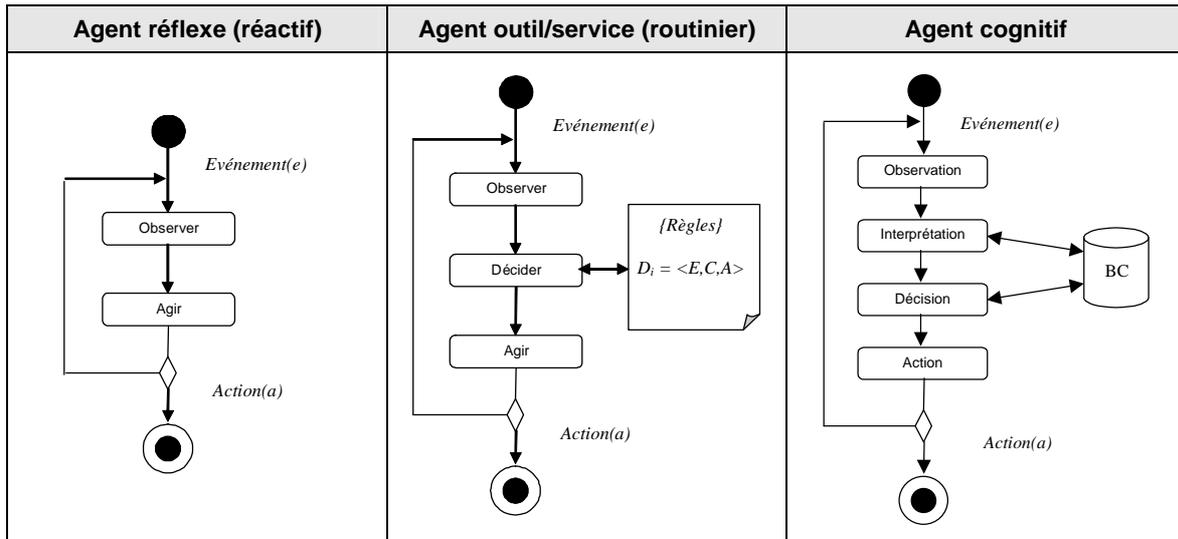


Figure 13. Diagrammes d'activités pour des agents issus du modèle de Rasmussen

La théorie de la modularité⁵² de Fodor (1983) est à la base de nos travaux sur l'architecture d'un agent de niveau cognitif. Celle-ci comporte cinq modules⁵³ spécialisés pour la gestion des connaissances, la perception, la communication, le contrôle et le raisonnement de l'agent (figure 14). Les modules de contrôle et de décision constituent le système central de l'agent, les trois autres modules constituent le système périphérique. Dans (Fougères, 2003) nous avons proposé un modèle réseau de Petri du comportement de ces modules.

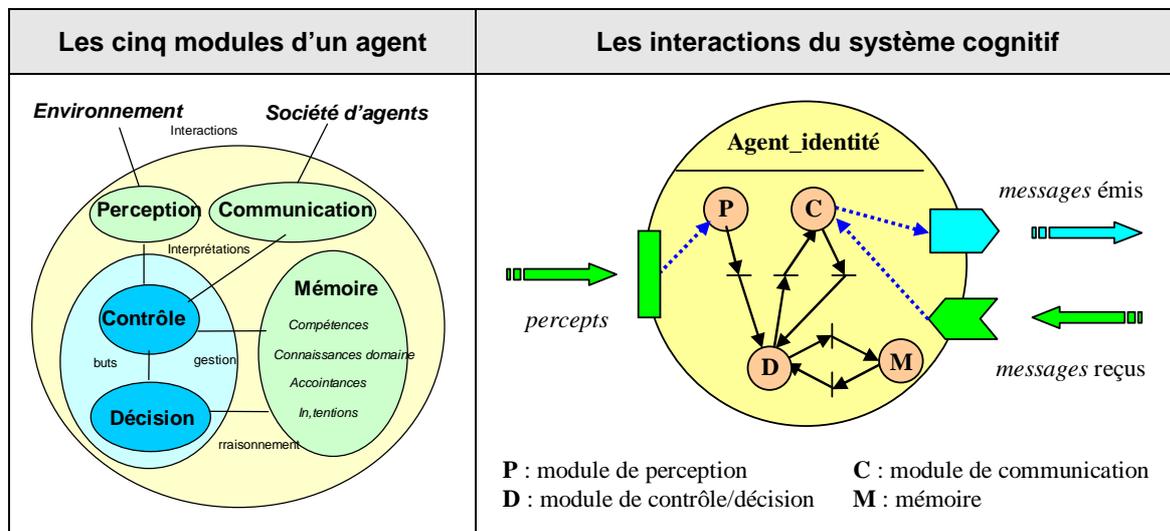


Figure 14. Architecture modulaire d'un agent cognitif (Fougères, 2003).

— *Le module de perception.* C'est le processus permettant l'acquisition des connaissances dans l'environnement d'évolution de l'agent. Les opérations de ce module correspondent

⁵² Pour Fodor, les systèmes cognitifs modulaires sont propres à un domaine, innés (leurs structures ne dépendent pas d'un processus d'apprentissage), cablés, autonomes (ressources propres), non construits (pas de structuration en sous-processus plus élémentaires). Un module, métaphore d'un organe humain, assure un ensemble de fonctions qui nécessitent des interactions continues entre ses composants.

⁵³ Cette composition n'est pas arbitraire, elle reprend les principaux processus cognitifs considérés par les ergonomes : apprentissage, attention, perception, mémoire, langage et communication, représentation mentale, raisonnements et résolution de problème (Boy, 2003).

aux deux premières phases du modèle de Rasmussen : <observation, interprétation>. L'observation est réalisée selon deux modes : (1) un mode intentionnel dans le cas de la poursuite de buts, et (2) un mode attentif (écoute) quand l'agent est disponible.

- *Le module de communication.* Il reçoit les messages et les interprète ; il en transmet sur décision du module de contrôle (le modèle de communication est décrit au §4.1.3.3).
- *Le module de contrôle.* Il gère les quatre autres modules en synchronisant et en contrôlant les tâches internes (analyse de messages, par exemple) et les tâches externes (activité dans l'environnement, collaboration avec les autres agents). Le traitement des informations reçues comporte quatre phases : (1) la formalisation de l'information, (2) la détermination des tâches à réaliser, (3) la transmission au module de décision des actions envisageables, et (4) la transmission de la décision au module de communication.
- *Le module de décision.* C'est le processus qui permet à l'agent de raisonner pour prendre des décisions de manière autonome. En fonction des connaissances contenues dans la mémoire et du type de décisions à prendre, le module de décision infère les séquences d'actions qu'il doit transmettre au module de contrôle. Ce module, suivant l'évaluation de la situation observée, est capable de prendre une décision sur les futures actions à effectuer, conformément au processus cognitif de Rasmussen : <Décision/Plan, Exécution/Action>.
- *Le module mémoire.* Ce module gère les accointances (connaissances sur les autres agents), les compétences, les connaissances expertes (tâches, procédures ou plan d'actions), les intentions (motivations personnelles) et les rationalités (modes d'évaluation), de l'agent. Lorsque ces connaissances sont volumineuses, l'utilisation efficiente de la mémoire⁵⁴ doit s'effectuer selon le principe du modèle ACT⁵⁵ ([Anderson, 1983](#)). Celui-ci est caractérisé par la différenciation entre une mémoire permanente (mémoire à long terme, composée d'une mémoire déclarative et d'une mémoire procédurale) et une mémoire de travail (mémoire à court terme, pour représenter la situation courante). La représentation formelle des connaissances, ainsi que leur acquisition, sont décrites plus loin (cf. §4.2).

Les agents sont des entités hétérogènes aux modes d'interactions variés et aux comportements complexes ; une modélisation de SMA doit donc pouvoir définir le type d'organisation⁵⁶ des agents et la capacité d'évolution de cette dernière. Ce que propose des modèles tels que « *Agent-Groupe-Rôle* » (un agent est membre d'un groupe dans lequel il joue un ou plusieurs rôle(s)) ([Ferber et Gutknecht, 1998](#)) ou *MOISE* (modèle organisationnel composé de rôles, groupes et liens organisationnels) ([Hannoun et al., 2000](#)).

4.1.3.3. *Modèle de communication*

La communication est le principal mécanisme d'interactions d'un agent avec la communauté des agents. Pour communiquer entre eux (information ou dialogue de coopération), nos agents s'échangent des messages dans une syntaxe proche de celle du langage KQML. Nous avons établi un lexique de verbes performatifs que nous utilisons dans nos applications. Un acte de communication (ACom) entre deux agents est alors défini par le quintuplet (§4.3.2) :

$$ACom = \langle AL, Ae, Ar, T, M \rangle \quad (4.4)$$

où *AL* est un acte de langage dénoté par un verbe performatif, *Ae* est l'agent source de la communication, *Ar* est l'agent destinataire, *T* est le type de message et *M* le message lui-même, traduisant une assertion, une question, une réponse, etc. Les éléments basiques du langage (variables et primitives du langage) sont recensés dans le tableau suivant (tableau 4).

⁵⁴ La mémoire, selon Bergson (1987), plus qu'un module, est une activité inscrite dans le mouvement.

⁵⁵ *Adaptive Control of Thought*.

⁵⁶ Le terme organisation est ambigu, il renvoie, de façon fortement corrélée, à l'action de structurer des entités, ici des agents, (dynamique de structuration) et au résultat de cette action (structure statique).

Eléments du langage	Signification
x, e, a, m, p	agent ou acteur, événement, action, message, proposition
observer (x, e);	x observe l'événement e
realiser (x, a);	x réalise l'action a
informer (x_e, x_r, m, t)	x_e envoie à x_r le message m avec le type t
diffuser ($x_e, \{x_r\}, m, t$)	x_e diffuse à la liste x_r le message m avec le type t
proposer (x_e, x_r, p)	x_e propose à x_r la proposition p
contre-proposer (x_e, x_r, p, p')	x_e contre propose à x_r la proposition p' au lieu de p
refuser (x_e, x_r, p)	x_e refuse à x_r la proposition p
accepter (x_e, x_r, p)	x_e accepte à x_r la proposition p
demander (x_e, x_r, r, t)	x_e demande à x_r la requête r de type t
repondre (x_e, x_r, r, t)	x_e répond à x_r la réponse r de type t
ordonner (x_e, x_r, o, t)	x_e ordonne à x_r l'ordre o de type t
confirmer (x_e, x_r, c, t)	x_e confirme à x_r la confirmation c de type t

Tableau 4. Ensemble partiel des éléments du langage d'interaction

Le schéma canonique de Moles (1986), augmenté des notions de feed-back⁵⁷ et de croyances (Fougères, 2003), intègre tous les éléments qui interviennent dans un acte de communication : intentionnalité et communication réciproque (échange d'informations). Côté agent émetteur, l'idéation crée le message défini par l'intention de communication ; le message est ensuite codé en utilisant les règles du *code émetteur* et en puisant les signes dans le *répertoire émetteur*. De son côté l'agent récepteur décode le message en utilisant son propre répertoire de signes ; il intègre ensuite ces signes, en faisant usage des règles de son propre code, dans un schéma (*RepCom*) qui servira éventuellement à actualiser ses connaissances :

$$\text{RepCom} = \langle \text{ACom}, \text{Croyance}, \text{EtatFB} \rangle \quad (4.5)$$

Pour la gestion de la dynamique des dialogues entre agents et leur cohérence, nous avons repris⁵⁸ l'idée proposée par Vilnat (2005) d'associer une fonction illocutoire à un acte de langage et d'établir des associations entre fonction illocutoire initiative et réactive (demande d'information/réponse positive ou négative, demande de confirmation/confirmation ou information, assertion/évaluation positive ou négative). Sacks et al. (1974), en analysant les énoncés de conversations, avaient déjà identifié de telles paires adjacentes d'énoncés⁵⁹.

4.2. Application dans un système de simulation-détection d'épidémie

4.2.1. Présentation

Pour illustrer notre approche de la communication entre agents dans un SC, nous présentons le système de simulation et de détection d'épidémies⁶⁰ *SIMBADE*. Les épidémiologistes disposent d'un certain nombre d'indices qui leur permettent de différencier les cas isolés d'une maladie de ceux résultant d'une contagion (épidémie). *SIMBADE*, conçu sur la base de l'organisation de la

⁵⁷ Mécanisme mis en oeuvre par les deux pôles de la communication (processus d'échange et de réciprocité entre interlocuteurs), permettant à l'émetteur de connaître la destinée de son message.

⁵⁸ Notamment lors de la TX de Zoé Drey (2002), « Conception d'un système de dialogue multi-agents ».

⁵⁹ Par exemple : (question, réponse), (demande, [confirmation, refus]), (proposition, [acceptation, rejet]), (évaluation, [accord, désaccord]), (salutation, salutation), etc.

⁶⁰ Cf. le dossier « IA et Médecine » du Bulletin de l'AFIA (BA, 2002) pour une étude sur l'introduction de techniques issues de l'IA et des STIC dans les systèmes d'information médicaux.

santé publique, permet de simuler des cas de maladies (locaux ou épars) et d'établir régulièrement des rapports de diagnostics d'épidémies, grâce aux messages échangés par les agents hiérarchisés du système de détection. La conception de *SIMBADE* a bénéficié d'une série de travaux sur la modélisation de la communication entre agents coopérants, formalisés avec les RdP⁶¹ ([Fougères, 2002](#) ; [2003](#)).

4.2.2. Description de l'application

SIMBADE est composé de trois sous-systèmes (figure 15.a) : (1) un SMA pour la simulation des épidémies, (2) un SMA pour la détection d'épidémies, et (3) un système d'aide à la décision gérant des connaissances médicales pour diagnostiquer des maladies et des épidémies. Chaque agent du SMA de détection d'épidémies possède ses propres connaissances pour établir les diagnostics en relation avec le rôle qu'il joue au sein de l'organisation. La prise de décision est ainsi répartie. Le système d'aide a donc pour vocation d'assister les agents dans leur initiative, ainsi que de participer au processus de mémorisation.

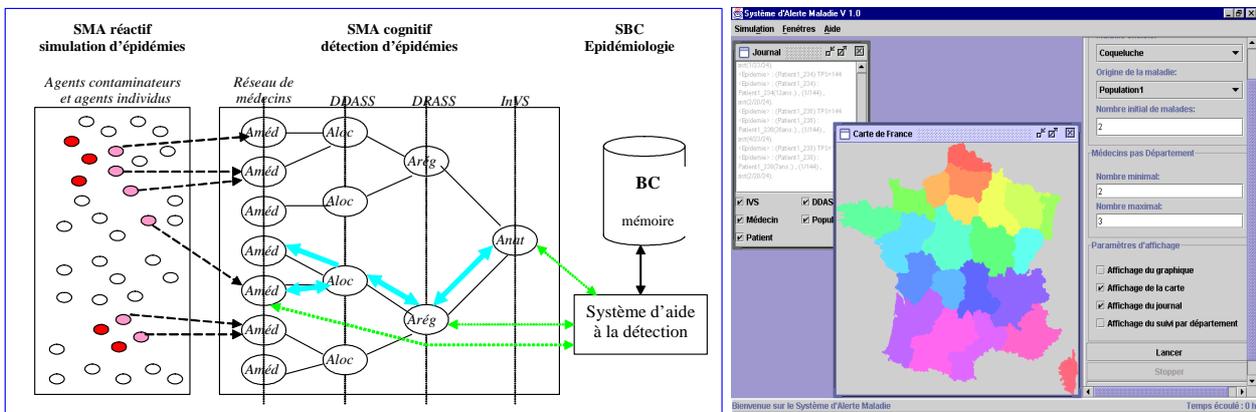


Figure 15. a) L'architecture globale de *SIMBADE* (ici illustrée), et b) son interface

4.2.2.1. Le SMA de simulation d'épidémies

Ce SMA, apparenté aux systèmes de vie artificielle ([Quinqueton et Hamadi, 1999](#)), est composé de deux types d'agents essentiellement réactifs : (1) les agents <contamineurs>, porteurs des maladies connues par le système, notamment les maladies à déclaration obligatoire ([BEH, 1999](#)) ; et (2) les agents <individus> qui consultent leurs médecins lorsqu'ils sont contaminés. Un agent <contamineur> est introduit localement par un agent de simulation qui active les maladies (grippe, méningite, coqueluche, listériose, etc.). Il peut, en raison de sa proximité, infecter un agent <individu> sain. Ce dernier devient porteur de la maladie et peut à son tour, en se déplaçant, contaminer un autre agent de son environnement évolutif.

4.2.2.2. Le SMA de détection des épidémies

Ce SMA de détection et d'alerte, qui doit simuler une réaction rapide des autorités sanitaires, comprend quatre niveaux d'agents cognitifs (de niveau 3) :

- Les agents <médecin>, regroupés en réseaux (le réseau national de médecins sentinelles, par exemple), représentent le premier niveau du système de santé en relation directe avec les malades. Ils ont pour rôle d'identifier les symptômes, de diagnostiquer les maladies et de recueillir les informations à communiquer aux agents <DDASS>.
- Les agents <DDASS> (Direction Départementale d'Action Sanitaire et Sociale) ont des fonctions de consultation, de conseil, de contrôle et de communication avec les médecins et les laboratoires. Leur mission est de fournir une aide au diagnostic aux médecins, une

⁶¹ Les Réseaux de Petri sont un bon formalisme pour représenter et simuler le comportement et les composants dynamiques des agents (Holvoet, 1995 ; El Fallah-Seghrouchni, 2001 ; Köhler, 2007).

remontée d'information aux instances supérieures et une mise en application des directives nationales pour la lutte ou la prévention des maladies.

- Les agents <DRASS> (Direction Régionale d'Action Sanitaire et Sociale) sont des agents centralisateurs (recueil d'informations régionales). Ils transmettent des informations à l'agent <InVS> ou des décisions sanitaires aux agents <DDASS>. Ce niveau a cependant un rôle limité dans notre organisation (il peut être court-circuité).
- Les agents <InVS> (Institut de Veille Sanitaire) collectent des informations pour assurer un rôle de contrôle/décision sur le territoire national ou pour établir des conclusions/rapports épidémiologiques statistiques ou qualitatifs.

Chaque agent est susceptible de prendre une décision localement, comme l'illustre la figure 15.a. On y voit un agent <Médecin> qui, ayant diagnostiqué une maladie à déclaration obligatoire, envoie un message à l'agent <Inspecteur> de la DDASS dont il dépend. L'agent <Médecin> peut aussi se faire assister par le système d'aide à la détection s'il le juge utile. Il serait utile d'étendre cette organisation aux autres acteurs du système sanitaire impliqués dans la chaîne de lutte contre les maladies (les laboratoires et notamment le Centre National de Référence, les instituts Pasteur, les services de surveillance de l'eau,...).

4.2.2.3. Modélisation du système

Le langage UML a été immédiatement adopté. Cependant, certaines spécificités des agents (actions autonomes, etc.), ne permettent pas de les substituer à de simples objets ([Bauer et Odell, 2005](#)). En conformité avec notre méthodologie de conception de SMA (§ 4.1.1.4), nous utilisons les diagrammes d'activité et de classe pour décrire le comportement et les propriétés d'un agent, les diagrammes de contexte et de cas d'utilisation pour décrire l'environnement, les diagrammes de séquence pour décrire les interactions entre agents, les diagrammes de classe (structurés en packages) pour décrire l'organisation du système d'agents.

- *Le modèle de communication.* Il permet de représenter le contexte, l'intention et le message d'une unité de communication. Supposons un échange de messages lors d'une consultation médicale simulée, ayant conduit le médecin à vérifier une hypothèse de coqueluche chez le patient ; le diagramme de référence des interactions pour ce scénario de contamination, avec déclaration obligatoire à l'INVS, est fourni dans la figure 16.
- *Le modèle statique.* Les diagrammes de classes présentent la structure statique des entités, des données et des messages échangés. Nous les reprenons pour offrir un point de vue global à la modélisation du SI orienté agents. Associés à un diagramme de collaboration, ils peuvent fournir les éléments structurels d'une organisation. Ces diagrammes ne sont cependant pas adaptés pour représenter l'organisation évolutive d'un SMA due, par exemple, aux phénomènes d'adaptations des agents et à leurs changements de rôle dans l'organisation ([Wagner, 2003](#)).
- *Le modèle dynamique.* Pour modéliser le comportement des agents, nous avons retenu les diagrammes d'activités en mettant ainsi l'accent sur les tâches réalisées par les agents (processus) dans leur exécution courante et dans leur activité de coopération (interaction). Les contextes d'interactions traités par le système sont nombreux. Les diagrammes de cas d'utilisation et de collaboration permettent de mieux les appréhender sous la forme de scénarios. La figure 16 correspond au scénario : « détection d'une maladie à déclaration obligatoire ». Nous l'avons toutefois simplifié en ne faisant pas apparaître tous les acteurs de l'organisation (agents <DDASS> et <DRASS>, notamment).
- *L'interface de simulation.* L'interface interactive du système de simulation d'épidémies (figure 15.b), a été spécifiée avec le modèle agent PAC ([Coutaz et Nigay, 2001](#)). L'IHM permet à un utilisateur de paramétrer la simulation, de naviguer dans différentes zones géographiques, d'y recueillir des informations quantitatives ou statistiques et de visualiser les journaux édités périodiquement par l'agent <InVS>.

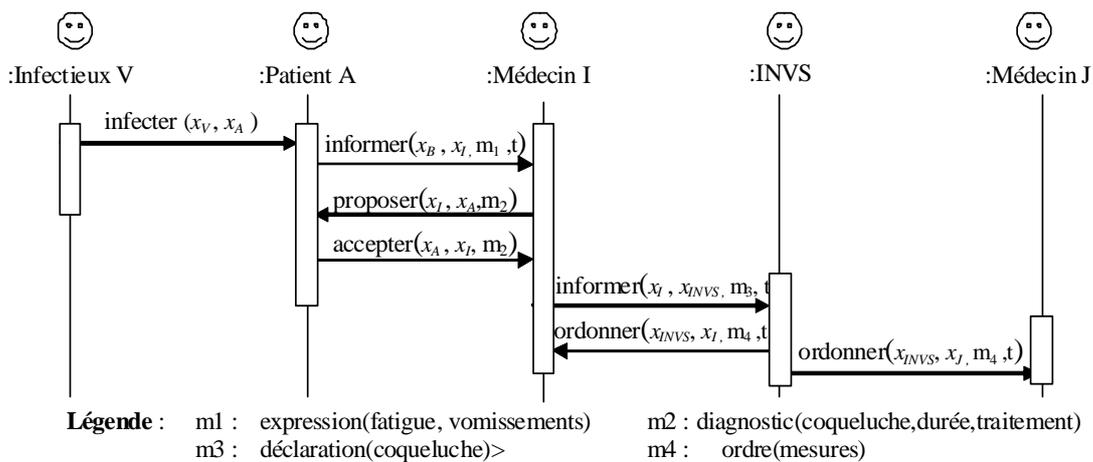


Figure 16. Scénario d'une contamination d'un individu, entraînant une déclaration obligatoire

4.3. Application pour un *Médiateur* intégré dans un atelier d'analyse fonctionnelle

4.3.1. Présentation

Afin de définir une méthodologie de conception de système de médiation (ou *Médiateur*) à base d'agents (décrite au chapitre 6), nous avons expérimenté l'instrumentation de cette médiation sur un atelier coopératif d'analyse fonctionnelle (*MO-AFT*). Cet atelier intègre un ensemble de μ -outils coopératifs permettant de réaliser les différentes tâches d'une analyse fonctionnelle d'un objet ou d'un système mécanique ([Ospina et Fougères, 2007](#) ; [2009](#)).

L'analyse fonctionnelle (AF) est une méthode systématique et structurée de conception. Elle permet de décrire le système à concevoir (produit, process, service, etc.) sous forme de fonctions et ce, afin de répondre de façon satisfaisante aux besoins de l'utilisateur final. Ceci se traduit par la rédaction d'un cahier des charges fonctionnel. La description fonctionnelle finale est le résultat de deux analyses : une analyse fonctionnelle technique (AFT), portant sur le produit et la compréhension de ses fonctionnalités internes, et une analyse fonctionnelle externe (AFE), concernant l'usage du produit. Compte tenu du nombre de variables manipulées, l'AF est souvent réalisée dans le cadre d'une activité collaborative. Celle-ci est souvent guidée et animée par un expert de la spécification fonctionnelle ; les autres participants sont des ingénieurs d'études spécialisés dans tel ou tel domaine. L'AF ayant une soixantaine d'années, il en existe de nombreuses présentations ([Tassinari, 1997](#)).

L'origine du projet de développement de μ -outils d'AF provient, quant à elle, du constat que si la méthode est reconnue pour rationaliser la conception, elle reste une méthode d'appropriation délicate et insuffisamment employée, et, d'autre part, du besoin d'outils bien identifiés pour supporter la démarche, guider l'utilisateur et faciliter l'appropriation de la méthode.

4.3.2. Description de l'application

Le *Médiateur* est intégré à un groupe d'acteurs humains engagés dans une AF coopérative, ce qui signifie qu'il est en mesure d'interagir avec eux. Pour cela il doit accomplir des tâches cognitives d'observation, d'interprétation, de décision et d'action. Bien entendu la portée de ces tâches est plus limitée que celle d'un acteur naturel ; elles lui permettent cependant de communiquer des informations coopératives pertinentes aux différents membres du groupe. L'observation des actes de coopération réalisés par des acteurs travaillant dans des espaces

coopératifs proxémiques, puis distants, nous a permis d'identifier un premier niveau d'interactions nécessaires à la pertinence d'une médiation dans un espace coopératif distant. Ces interactions correspondent à des fonctions de coopération que nous regroupons dans un modèle nommé *5Co* (cf. §5.1.1.3). Une interaction est représentée au moyen d'un quadruplet :

$$\text{Interaction} = \langle AC, As, Ad, O \rangle \quad (4.6)$$

où *AC* est un acte coopératif défini dans l'ensemble des *5Co* :

$$AC = \{ \text{Communication, Coordination, Coproduction, Comémorisation, Contrôle-Processus} \} \quad (4.7)$$

As est l'agent source (initiateur) de l'interaction, *Ad* est l'agent destinataire de l'interaction et *O* est l'objet de l'interaction. La spécification des communications (information, coordination, mémorisation ou négociation) entre les agents du *Médiateur* et les utilisateurs de *MO-AFT*, respecte le langage présenté dans le tableau 4.

Pour rendre explicite la communication entre le *Médiateur* et les concepteurs, nous avons fait une hypothèse forte de coopération ([Grice, 1975](#)) : il ne peut y avoir interaction sans un seuil minimum de coopération ([Sadek, 1996](#)), d'autant plus dans le cas d'une mixité d'acteurs humains et artificiels. La figure 17 illustre les interactions communicationnelles entre trois acteurs *A*, *B* et *C*, et l'intervention du *Médiateur* via le système coopératif. Ces macro-interactions (interactions entre acteurs) sont consécutives à une proposition *p* faite par le concepteur *A* aux acteurs *B* et *C* (ici, une proposition de composants dans le cadre d'une activité d'établissement de nomenclature que nous détaillerons davantage au chapitre 6). Le *Médiateur* est informé de la proposition *p* par l'intermédiaire de ses agents observateurs. L'acteur *C* accepte la proposition *p*, par contre l'acteur *B* envoie une contre-proposition *p'*. Le *Médiateur* ayant observé en continue cet échange informe l'ensemble des acteurs de la contre-proposition *p'*. Son action permet à chaque acteur d'obtenir un compte rendu des échanges de propositions, sans qu'ils aient à le réclamer ou à le diffuser par eux-mêmes.

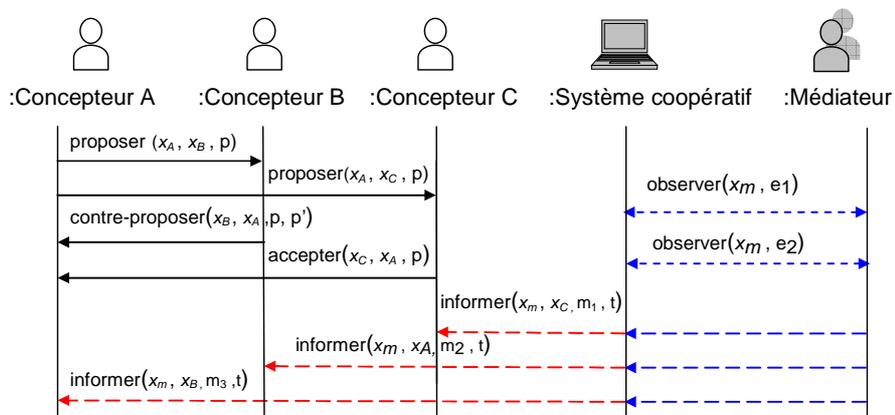


Figure 17. Les interactions entre trois concepteurs, le Médiateur et le système coopératif

La figure 18 illustre quant à elle les micro-interactions, interactions entre les agents composant le *Médiateur*, consécutives à l'observation de la proposition *p* du concepteur *A*.

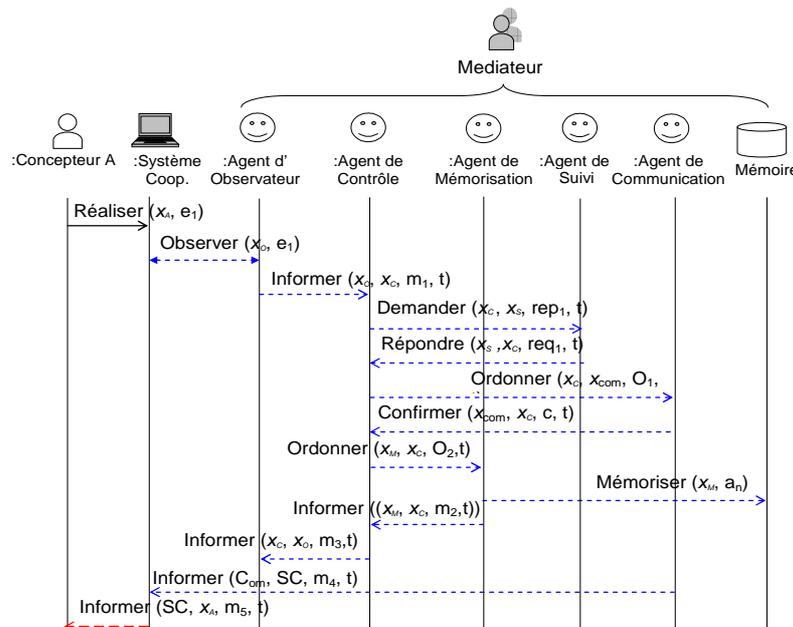


Figure 18. Les interactions entre les agents du Médiateur, le système coopératif et la mémoire.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un cadre générique de modélisation d'agents communicants définis dans le but d'apporter un haut niveau d'assistance à des utilisateurs de SC, notamment coopératifs. L'approche formelle corrélée consiste à définir une architecture modulaire pour concevoir les différents processus cognitifs des agents, à adopter une méthodologie rigoureuse d'acquisition de l'expertise de chaque agent, à définir leur modèle de connaissances, ainsi que leurs modèles d'interaction et de communication.

Une première application nous a permis d'illustrer notre approche. Il s'agit d'un système de simulation et de détection d'épidémies qui allie complexité (trois systèmes à intégrer) et clarté de présentation. Le système de simulation est défini de façon à piloter les deux autres systèmes et à appréhender ce que serait un système autonome déployé sur le réseau de santé publique. Dans ce cas, les données fournies au système de détection ne proviendraient plus du SMA de simulation, mais des acteurs de la santé publique, se substituant aux agents des sous-systèmes. La modélisation du degré d'attention/intention des agents est encore élémentaire ; nous pensons à une pondération dynamique pour améliorer leurs performances.

Pour assurer un meilleur partage de l'information dans un collectif et pour permettre d'établir une coopération plus efficace entre les utilisateurs, nous avons proposé le concept de système de médiation. Celui-ci est conçu comme un acteur de la coopération, que nous appelons *Médiateur* (Ospina et Fougères, 2007). Nous avons alors étudié l'intégration d'un tel système dans l'atelier *MO-AFT*, par l'expérimentation de scénarii typiques de coopération (co-production émergente, distribuée puis augmentative). Le concept de *Médiateur* étant développé dans le chapitre 6 ; nous nous sommes concentré dans ce chapitre sur le cadre communicationnel. Vue sous cet angle, cette seconde application a mis en évidence deux niveaux de situation d'interactions, selon l'expression de Bonabeau et Theraulaz (1994).

— Des *micro-situations d'interactions* : communication intra-*Médiateur* (entre les agents du *Médiateur*), par exemple. Les échanges sont facilement formalisables. L'intention de l'agent émetteur est contenue dans le message lui-même. Ce sont des échanges de cette même nature que nous avons modélisés dans des applications telles que la plate-forme distribuée *PLACID* (Fougères, 2004), évoquée dans le chapitre suivant, ou l'atelier *MOCEVA* d'évaluation de performance à base de μ -outils agentifiés (Micaëlli et Fougères, 2007).

- Des *macro-situations d'interactions* : communication entre les concepteurs et le *Médiateur*, par exemple. Les échanges ne sont pas formalisés. Pour assurer l'intercompréhension, le *Médiateur* doit posséder des aptitudes à l'interprétation des messages. Ce qui élargit nos travaux à des perspectives de communication mixte entre agents logiciels et humains.

Deux types de perspectives se dégagent des travaux rapportés dans ce chapitre : (1) l'amélioration de la communication dans les systèmes de médiation coopérative suppose la considération des deux niveaux d'interaction identifiés ci-dessus, (2) une autre perspective porte sur la communication dans des systèmes comprenant plusieurs communautés d'agents, ce qui ajoute un troisième niveau d'interaction. C'est le cas pour la plate-forme *APIC* ([Ostrosi et Fougères, 2009](#)), dans laquelle quatre communautés d'agents flous sont en interrelation pour réaliser une configuration de produits. Nous développerons ces perspectives dans le dernier chapitre de ce mémoire (cf. § 7.3).

« Qu'ils considèrent ensuite ce que l'on doit attendre [...] surtout dans une voie praticable par plusieurs à la fois et où les travaux et les tâches peuvent très bien être répartis, puis se combiner. Car les hommes commenceront à connaître leurs forces, quand ils ne recommenceront pas tous à l'infini les mêmes tâches, mais les partageront. »

Francis Bacon⁶²

CHAPITRE 5.

LA COOPERATION DANS LES SYSTEMES D'AIDE ET/OU COOPERATIFS

Le thème central de ce chapitre est « La coopération » vue sous trois angles, essentiellement développés depuis notre intégration au laboratoire M3M en janvier 2003 : (1) la conception des systèmes coopératifs et des collecticiels, (2) la modélisation des activités coopératives, et (3) l'instrumentation de ces activités coopératives. Le chapitre est structuré en 4 sections. La première propose une brève présentation de la coopération et du CSCW⁶³ ; elle est suivie par l'exposé de la problématique de la conception de collecticiels, et s'achève par quelques propositions formulées pour nos projets de recherches. Les deux sections suivantes présentent deux applications inscrites dans cette problématique : (1) l'instrumentation des activités coopératives de gestion et de suivi de projets d'étudiants, (2) la conception de *PLACID*, une plateforme pour coopérer en conception distribuée, et l'intégration dans *PLACID* de micro-outils de coopération pour l'évaluation de performance (*MOCEVA*). La dernière section propose une synthèse de ces recherches et l'énoncé de perspectives à nos travaux.

5.1. Introduction

Depuis les débuts de l'informatique, les relations entre l'homme et la machine ne cessent d'évoluer. Les développements de l'IA participent à cette évolution en transformant les relations purement physiques en relations cognitives. Ainsi les possibilités de représentation, d'interprétation et d'apprentissage des machines ouvrent la voie à une meilleure médiatisation des activités humaines instrumentées. S'il est encore trop tôt pour parler de partenariat⁶⁴, on peut annoncer de réelles capacités d'assistance aux machines à venir. Pour une entreprise ou une organisation, les contextes d'application couvrent tous les secteurs concernés par des activités de groupe permettant de concevoir, de prendre des décisions ou de s'organiser.

5.1.1. La coopération et le CSCW

Les individus regroupés dans un collectif d'intérêt, coopèrent pour compenser leurs capacités individuelles plus limitées, ou pour améliorer leurs efficacités. Cela se traduit par une coopération additive ou intégrante. Cette coopération peut bénéficier de la médiation d'une machine, apte à faciliter la communication, la coordination, la mémorisation ou la production du groupe ([Ellis et al., 1991](#)). Les chercheurs intéressés par la problématique de la coopération ont alors développé des méthodes, modèles et outils ([Benali et al., 2002](#) ; [Lonchamp, 2003](#)), pour

⁶² Francis Bacon, *Novum Organum*, Presses Universitaires de France, Paris, 1986.

⁶³ *Computer Supported Cooperative Work* (TCAO, travail coopératif assisté par ordinateur, en français).

⁶⁴ Il faudrait pour cela que les machines disposent d'un minimum de savoir-coopérer (Hoc, 2003).

constituer une ingénierie de la coopération. Cette ingénierie désigne l'ensemble des fonctions, allant de l'étude de faisabilité, à la construction et au contrôle des systèmes qui supportent la coopération. Elle permet de capitaliser les connaissances, d'offrir des services adaptés à l'activité coopérative et de produire des patrons ([Saidane et Giraudin, 2002](#)). Associé à cette ingénierie, le CSCW a pour objets d'étude la conception, le développement et l'utilisation de systèmes coopératifs ([Grudin, 1994](#)). Les systèmes coopératifs conçus pour le CSCW sont alors des systèmes qui permettent à plusieurs acteurs (terme que nous préférons à celui d'utilisateurs) de travailler ensemble en utilisant une infrastructure technologique commune.

5.1.1.1. Les deux dimensions du CSCW

Le CSCW se décompose en deux approches fortement corrélées :

- Une approche orientée technologie (approche techno-centrée traduite par les lettres CS) qui s'intéresse à la réalisation des dispositifs informatiques du CSCW, à savoir : que peut apporter l'informatique à la problématique du travail coopératif ? Et comment concevoir des systèmes qui puissent améliorer le travail coopératif ? Cette approche est orientée sur les applications coopératives, dans le but de concevoir et réaliser des artefacts coopératifs.
- Une approche orientée usages et usagers (approche anthropo-centrée traduite par les lettres CW), qui vise à comprendre et à étudier les facteurs sociologiques, psychologiques, pragmatiques, économiques, organisationnels, etc., inhérents au travail de groupe. Les disciplines concernées se posent des questions du type : quelles sont les caractéristiques du travail coopératif ? Qu'est-ce qui distingue le travail coopératif du travail individuel ? Comment travailler ensemble ? Quelles sont les positions relatives de l'individu et du groupe ? Comment avoir conscience de l'activité des autres (*awareness*⁶⁵) ?

Les modèles élaborés par l'approche anthropo-centrée peuvent servir de support dans la conception de collecticiels en tant que modèles de connaissances, de schémas d'activité ou d'assistance. Prenons par exemple, le problème de la gestion de conflit dans les activités coopératives. Une modélisation proposée consiste à voir la gestion d'un conflit comme la succession de trois phases successives : (1) l'observation du conflit ; (2) le choix d'une solution parmi un ensemble de solutions envisagées ; puis (3) l'information aux acteurs concernés ([Rose et al., 2003](#)). Il est alors possible de définir dans un système coopératif, des schémas de connaissances (cas de conflits) ou des processus de médiation (procédures d'assistance à la résolution de conflits), afin de faciliter le travail coopératif des futurs utilisateurs du système.

5.1.1.2. Les concepts du CSCW

Pour Piaget ([1965](#)), coopérer dans l'action c'est « *ajuster au moyen de nouvelles opérations [...] les opérations exécutées par chacun des partenaires [...] c'est coordonner les opérations de chaque partenaire en un seul système opératoire dont les actes mêmes de collaboration constituent les opérations intégrant* ». Ainsi, les activités liées au travail coopératif sont essentiellement des échanges, du partage et de la coordination des participants. Pour Hoogstoel ([1995](#)), ceci s'est traduit par la définition de six enjeux, les trois premiers pour des coopérations ponctuelles, les trois suivants pour la structuration d'un groupe : (1) faciliter le partage des ressources et des co-productions, (2) assister la coordination, (3) améliorer la communication de groupe, (4) favoriser l'implication individuelle, (5) entretenir la cohésion des équipes et (6) favoriser le développement de l'organisation. Schmidt et Bannon ([1992](#)) appellent activité coopérative tout ce qui entraîne des besoins de communication et de coordination entre personnes, afin d'assurer conjointement une activité professionnelle ou sociale. Les notions de *coopération*, *communication* et *coordination* sont interdépendantes et forment un triplet paradigmatique, présent dans les principaux modèles de la coopération.

⁶⁵ L'*awareness* réfère à la notion d'attention diffuse des acteurs d'un groupe de travail (cf. § 5.1.1.6). Elle peut être commune ou mutuelle à un collectif (*mutual awareness*).

- *La coopération.* Elle a pour caractéristiques essentielles : des relations et des interactions entre acteurs (avec rétroaction informationnelle pour éviter des ruptures ou des blocages dans l'activité), du partage (mise en commun de référentiels, de connaissances, d'objets, d'outils, de tâches, de ressources, d'un espace de travail, etc.), des résolutions de conflits, des décisions, des négociations, de la dépendance et de l'autonomie dans l'activité ([Boughzala, 2004](#) ; [David, 2004](#)). Ce que Zacklad ([2000](#)) exprime sous l'angle des transactions intellectuelles⁶⁶ : « *Les activités coopératives sont des activités collectives finalisées dans lesquelles les moyens de la construction et de l'atteinte des buts ne sont pas entièrement standardisés ni formalisés et qui laissent, de ce fait, une part d'autonomie importante aux acteurs dans la définition des modalités d'articulation de leurs contributions et dans l'adaptation à des phénomènes émergents* ».
- *La communication.* En situation coopérative, la communication permet aux acteurs de planifier, accomplir, modifier, coordonner, négocier et évaluer leur activité. Elle permet aux acteurs de construire et de partager des connaissances. Elle facilite leur coordination et renforce leur adhésion au groupe. Ces éléments de la coopération ne peuvent donc se mettre en place que grâce à des actes de communication ([Decortis et Pavard, 1994](#)). Les communications observées dans les activités coopératives ont des objectifs très variés : l'orientation générale du travail, l'orientation pendant la réalisation de l'activité, l'exécution des actions individuelles, le contrôle de l'activité, etc. ([Leplat, 1994](#)). Il n'y a donc pas de coopération dans les groupes de travail sans communication ; pour agir ensemble, les participants doivent se comprendre ([Kostulski et Trognon, 1998](#)). Winograd ([1988](#)) considère la communication orientée dans l'action, en analysant le rôle joué dans la coordination des actions collectives par les interactions humaines et les conversations. L'analyse des traces de ces interactions langagières permet d'ailleurs de caractériser l'activité d'un collectif et les processus sociaux sous-jacents ([Ripoche et Sansonnet, 2006](#) ; [Bratitsis et Dimitracopoulou, 2008](#)).
- *La coordination.* Le besoin de coordonner le travail coopératif produit un travail spécifique d'articulation, « *constitué du besoin de retenir la nature distribuée d'activités complexes interdépendantes* » ([Schmidt et Simone, 1996](#)). Dans tout travail de co-production, les interactions entre acteurs sont guidées par deux objectifs complémentaires : (1) la synchronisation des acteurs dans le temps et sur le plan de l'action (allocation de tâches), et (2) la synchronisation cognitive permettant d'établir un contexte mutuellement partagé et un référentiel opératif commun ([Darses et al., 2001](#)). La coordination d'une activité consiste à créer un réseau de sous-buts permettant à l'ensemble des acteurs d'atteindre le but commun final. Les fonctionnalités de coordination sont alors celles qui permettent de réaliser la répartition des tâches entre les différents acteurs en tenant compte de leurs compétences individuelles (division du travail), de définir leurs relations temporelles, d'identifier et de suivre les acteurs impliqués dans chacune des tâches. Cette coordination de tâches peut être de deux natures : (1) explicite (ou prescrite), au moyen d'un workflow coopératif par exemple ([Grigori et al., 2004](#)) ; (2) implicite, lorsqu'elle résulte d'échanges négociés pour maintenir la cohérence globale de la production et de l'activité, ou lorsque le contexte partagé offre les bases d'une conscience de groupe ([Bouthier, 2004](#) ; [Sato, 2008](#)). Zacklad ([2006](#)) redéfinit la coordination des situations réparties au sein d'un flux transactionnel comme « *l'ensemble des artefacts et des méthodes permettant de résoudre les problèmes liés à l'articulation d'activités interdépendantes complexes [...] et d'assurer une continuité entre les situations d'activités appartenant à un même flux transactionnel* ».

Olson et Olson ([1997](#)) distinguent les collectifs selon leurs tailles : organisation, groupe ou équipe. Dans une équipe, le niveau considéré dans nos travaux, l'activité individuelle n'a de sens qu'articulée avec celle des autres membres, et orientée sur des tâches définies dans un

⁶⁶ Interactions langagières, avec partage de connaissances personnelles et prise réciproque d'engagement épistémique (tournée vers le domaine) ou relationnelle (tournée vers le collectif).

but commun ([Hoc, 2003](#)). Certains auteurs ([Johansen, 1991](#) ; [Rogalski, 1994](#))⁶⁷ ont proposé des typologies pour ces activités. Ces typologies s'accordent habituellement sur les principaux modes de coopération : asynchrone, synchrone en session (diminution des temps d'interactions), en réunion (amélioration de la coordination), étroite (augmentation de la co-production) ([David, 2004](#)). L'activité collective peut aussi être envisagée comme un continuum entre un simple partage de ressources et la réalisation conjointe d'une tâche commune.

5.1.1.3. Les modèles fonctionnels génériques

La plupart des modèles génériques du CSCW proposent une articulation de la coopération autour des concepts de communication, coordination et production.

- Le *modèle des 3C* ([Ellis et al., 1991](#) ; [Fuks et al., 2005](#)), distingue trois notions dans le travail coopératif : (1) la *communication*, correspondant à l'action de mettre en commun (étymologiquement : *communico* + *action*) ; (2) la *coopération*, correspondant à l'action d'opérer ensemble (étymologiquement : *co* + *operor* + *action*) ; et (3) la *coordination*, correspondant à l'action d'organiser ensemble (étymologiquement : *co* + *ordino* + *action*).
- Le *trèfle fonctionnel* de Salber ([1995](#)), articule les fonctionnalités du CSCW autour de trois espaces interdépendants : (1) un *espace de production* : les objets utilisés et les opérations effectuées constituent des environnements de production collective ; (2) un *espace de coordination*, pour l'organisation des activités : définition des acteurs (individus, groupes, rôles), des tâches et des relations acteur/tâche, gestion de la dynamique des tâches, gestion des conflits et maintien de la cohérence des actions ; et (3) un *espace de communication* : l'interface d'interaction entre les acteurs et le système, entre les acteurs eux-mêmes. David ([2001](#)) a proposé d'en ajouter un quatrième, l'*espace de conversation*, représentant les communications ne produisant pas d'information persistante.
- Le *modèle « Coordination, coopération, co-construction »* de Bardram ([1998](#)) reprend l'idée de structure hiérarchique définie par Engeström pour décrire la dynamique de l'activité ([Bourquin, 2000](#)). Cette structure comporte trois niveaux : (1) la coordination pour la réalisation d'actions éventuellement prédéterminées par un script d'exécution – cette coordination nécessite une réflexion sur les moyens du travail ; (2) la coopération, ou réalisation des actions des sujets ; et (3) la co-construction de l'activité comportant des séquences d'interactions dans lesquelles les sujets peuvent re-conceptualiser leur organisation – cette co-construction nécessite une réflexion sur l'objet du travail.
- Notre *modèle des 5Co* ([Fougères et Micaëlli, 2006](#)) réunit cinq fonctionnalités de base d'un collectif, centrées sur l'activité de production collective (figure 19) : (1) la **co-production** à l'aide d'outils de localisation, d'annotations, de réunion, de résolution de problèmes, de décision de groupe, etc. ; (2) la **co-mémorisation** opérée sur le travail du groupe (base d'informations et de connaissances partagées, mémoire des activités collectives), constituant un véritable espace cognitif partagé ; (3) le **contrôle de processus** prédéfinis (guide ou prescription dans l'enchaînement de tâches, workflow) ; (4) la **coordination** ; et (5) la **communication**. Ce modèle complète le modèle des 3C, définissant les espaces nécessaires aux artefacts de collaboration, autour de la production coopérative.

⁶⁷ Johansen a proposé une matrice de détermination des fonctions/outils de coopération en fonction de leur localisation spatio-temporelle. Rogalski propose trois grandes catégories d'activités collectives : (1) la collaboration, ou réalisation d'une tâche commune, (2) la coopération distribuée, la tâche commune est moins centrale et (3) la coaction, comportant des tâches inférentes plus que des tâches communes.

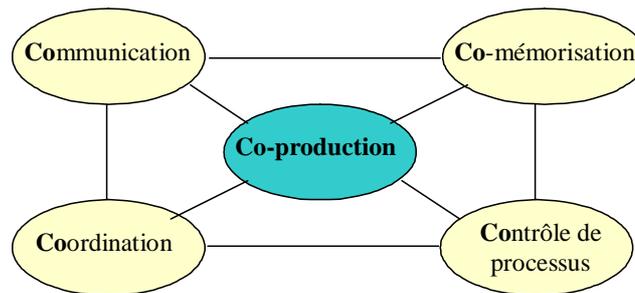


Figure 19. Fonctions basiques d'un collecticiel – Les 5Co

5.1.1.4. L'analyse et la modélisation des activités coopératives

L'unité d'analyse de l'activité collective est un système fonctionnel composé d'humains, d'artefacts (papier, écran, tablette graphique, documents évolutifs, etc.) et d'objets partagés ([Zouinar et Salembier, 2000](#)). Cependant, les définitions des concepts d'activité et de tâches ne font pas l'unanimité. Pour les ergonomes, par exemple, la tâche correspond au travail à réaliser pour atteindre un but, et l'activité correspond aux conduites développées pour réaliser la tâche ([Sperandio, 2003](#)). Une tâche peut être prescrite, lorsqu'elle est assignée à un sujet, et se distinguer de la tâche réelle (effectivement réalisée). De nombreuses théories permettent d'aborder les problèmes d'analyse et de modélisation de l'activité coopérative ([Decortis et al., 2000](#) ; [Halverson, 2002](#) ; [Salembier, 2002](#)). Parmi celles-ci les plus évoquées sont :

- La *Cognition Distribuée* ([Hutchins, 1995](#) ; [Hollan et al., 2000](#)), essentiellement appliquée pour comprendre des situations de travail complexes, assistées par un artefact – les modèles qu'elle permet de concevoir se démarquent des modèles traditionnels issus des sciences cognitives en ce que l'objet d'étude ne se trouve plus être uniquement le sujet, mais inclue aussi les processus de coopération entre sujets et les artefacts. Ainsi, la cognition est distribuée entre les sujets et les éléments de la situation, ce qui revient notamment à considérer une unité d'analyse entre l'ensemble des sujets et les artefacts.
- L'*Action Située* ([Suchman, 1987](#) ; [Winograd et Flores, 1986](#)) qui soutient que bien souvent l'activité humaine, plus qu'implanter des plans préconçus selon le cognitivisme classique, consiste en une activité permanente d'improvisation et d'ajustement d'actions, et en une appropriation de ressources disponibles en contexte (plus grande focalisation sur les objets matériels, du contexte et des interactions sociales). L'activité s'apparente alors à un processus émergent s'adaptant au contexte. Selon Suchman ([1987](#)), « *Les actions sont situées et correspondent à des comportements improvisés* ».
- La *Théorie de la Coordination* ([Malone et Crowston, 1994](#)) qui permet d'expliquer comment la coordination prend place dans un système, selon une approche interdisciplinaire. Les processus organisationnels dépendent des mécanismes de traitement de l'information utilisés pour gérer les dépendances entre les tâches et les ressources. Malone et al. ([1999](#)) proposent une classification en trois catégories de ces dépendances : des dépendances de flux (une tâche produit une ressource qui sera utilisée par une autre tâche), des dépendances de partage (plusieurs tâches utilisent la même ressource) et des dépendances d'ajustement (plusieurs tâches co-produisent une même ressource).
- L'*Ergonomie Cognitive* ([Leplat, 1994](#)) qui analyse les situations de travail coopératives – les activités cognitives des individus en fonction des environnements de travail et des artefacts. L'ergonomie cognitive, s'appuyant sur des observations de terrain, peut donc apporter un éclairage intéressant pour l'instrumentation d'une activité collective – instrumentation qui se traduit par la prise en compte de la coordination des buts et des représentations de chaque acteur, la régulation de la charge de travail, l'auto-régulation des acteurs et les préconisations d'utilisation des artefacts ([Lonchamp, 2003](#)).
- La *Théorie de l'Activité* ([Vygoskii, 1978](#) ; [Leontiev, 1978](#) ; [Kaptelinin, 1995](#) ; [Kuutti, 1996](#) ; [Engeström et al., 1999](#)) : le concept d'activité y est considéré comme l'unité de base de

toute étude d'un système complexe. Leontiev (1978) a proposé un cadre conceptuel de la Théorie de l'Activité (TA). Pour Kaptelinin et Nardi (1997), ce cadre conceptuel comprend : la structuration hiérarchique des activités, l'objectivation de la réalité, l'internalisation et l'externalisation des activités, le rôle de médiation rempli par les outils et la dynamique du développement des activités. La TA a été utilisée pour étudier un ensemble de contextes d'activités variées, dont celles de la conception et de l'évaluation des SI (Kuutti, 1999 ; Collins et al., 2002 ; Cluts, 2003 ; Bryant et al., 2005).

5.1.1.5. Compléments sur la Théorie de l'Activité

Pour aborder la TA, Kaptelinin (1995) considère trois caractéristiques de la cognition humaine : (1) les fonctions mentales humaines apparaissent d'abord sur le plan inter-individuel puis sur le plan intra-individuel, (2) les processus mentaux humains sont médiatisés par des outils techniques ou psychologiques, et (3) la « zone proximale de développement » définit la zone entre ce qu'un individu apprenant est capable d'accomplir seul ou avec une aide extérieure.

Leontiev (1978) définit trois niveaux pour analyser les activités humaines : (1) le niveau des *activités*, dans lequel l'activité⁶⁸, réalisée par des actions conscientes, est continuellement influencée par une situation qu'elle ne cesse de modifier ; (2) celui des *actions*⁶⁹, individuelles et collectives, dirigées vers un but conscient, compréhensibles dans leurs contextes, et dont les exécutions sont planifiées en utilisant un modèle, au cours d'une phase appelée « orientation » (*Plan Interne d'Action*) ; et (3) celui des *opérations*, exécutées inconsciemment et orientées par l'expérience. Cependant les limites entre les niveaux de cette structure hiérarchique sont mouvantes et évolutives dans l'activité continue. Une action peut devenir automatique et descendre au niveau de l'opération. Inversement, une opération routinière peut rencontrer un obstacle imprévu et remonter au niveau conscient de l'action (Lonchamp, 2003).

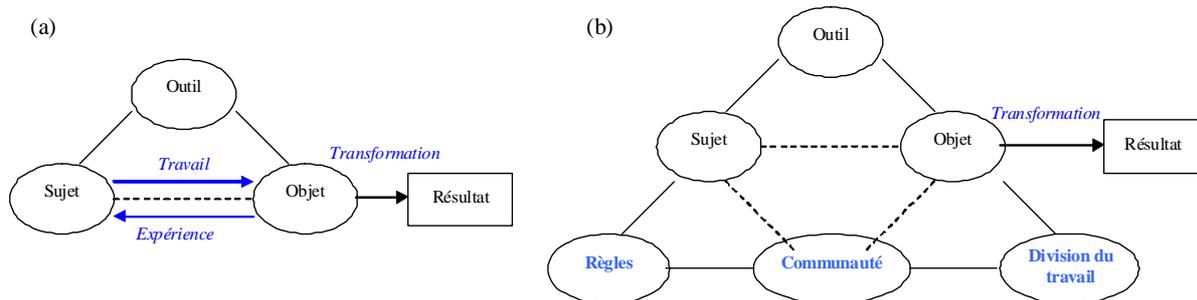


Figure 20. Structure basique d'une activité (a) individuelle et (b) coopérative

Le cadre conceptuel développé par Leontiev (1978) comporte une médiation par l'outil, une analyse de l'activité humaine (individuelle et sociale) – la tâche étant la relation médiatisée au niveau individuel. La structure basique de l'activité (figure 20.a), dont le but est la production de résultats (intermédiaires ou finaux), est définie par trois composants : (1) le *sujet*, individu ou groupe ; (2) l'*objet*, la tâche à réaliser (transformation de l'environnement visé par l'activité) ; (3) l'*outil*, tout ce qui est utilisé dans le processus de transformation, outils matériels et symboliques. Engeström (1987 ; Engeström et al., 1999) a élargi aux activités coopératives (figure 20.b) le cadre de l'activité élémentaire, par l'inclusion d'une base coopérative composée de trois éléments supplémentaires : (1) la *communauté*, réunissant les individus participant à

⁶⁸ Huit propriétés permettent d'appréhender le concept d'activité : (1) elle possède un *objet* (espace problème) vers lequel elle est dirigée et qui en motive l'existence ; (2) elle possède au moins un *sujet* (individuel ou collectif) en accord avec son objet ; (3) elle est *collective*, le sujet fait partie d'une communauté partageant le même objet ; (4) elle est réalisée par les sujets au travers d'*actions orientées vers des buts conscients* ; (5) elle existe dans un *environnement* qu'elle transforme ; (6) elle a une *histoire* (mémoire de son développement) ; (7) elle fait apparaître des *contradictions* qui assurent son développement ; et (8) les *relations* entre les éléments d'une activité sont *médiatisées culturellement*.

⁶⁹ En physique une action est une grandeur correspondant au produit d'une énergie par une durée.

l'activité ; (2) les *règles*, qui médiatisent la relation sujet – communauté (ce que signifie « être membre d'une communauté ») ; et (3) la *division du travail*, qui médiatise la relation objet-communauté (organisation de la communauté et rôles joués par les individus).

Si la TA fournit un cadre conceptuel général pour comprendre et analyser les activités humaines, elle ne définit pas pour autant de guide méthodologique pour conduire les analyses (Engeström et al., 1999). Certaines propositions d'assistance à la conception de SI, présentent alors un grand intérêt (Mwanza, 2001 ; Korpela et al., 2002). Nous nous en sommes inspirés dans nos récents travaux (Micaëlli et Fougères, 2007). Pour mieux appréhender la TA, utilisée pour la conception de collecticiels, nous avons modélisé ses 3 niveaux avec la méthode SADT. Activité, actions et opérations, sont représentées par les actigrammes du tableau 7. Celui d'une action peut être complété par une spécification précise du type :

Action = <Identificateur, Objet, Acteurs, Outils, Buts, Spec[Préconditions, Corps⁷⁰, ConditionsDeValidation, Postconditions]> (5.1)

Une activité coopérative peut alors se spécifier de la façon suivante :

Coop = <Objet, Acteurs, Outils, Tâches/Actions, Rôles, Modes, AC, Résultats> (5.2)

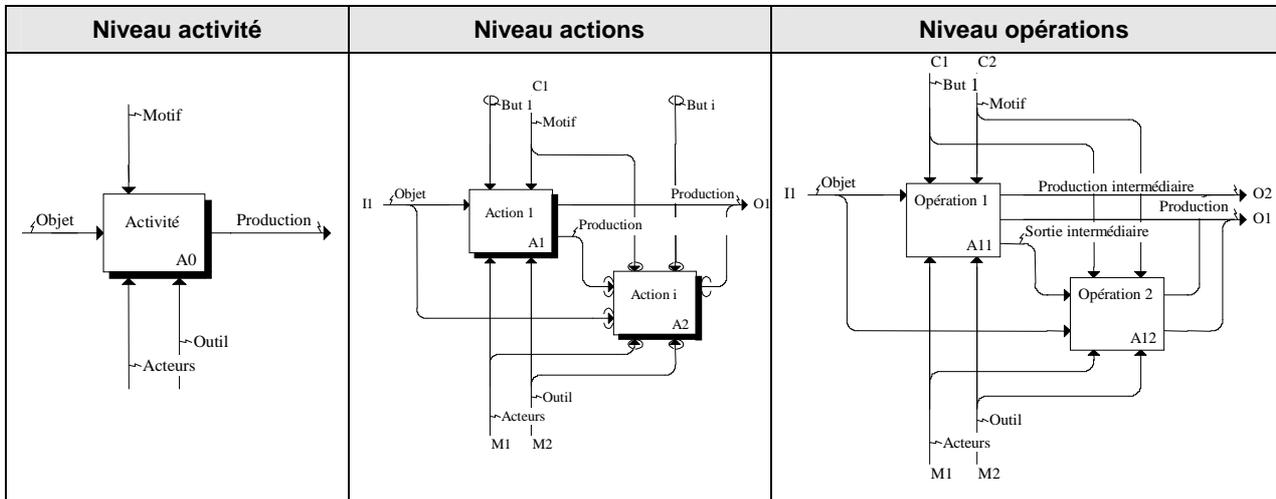


Tableau 5. Les trois niveaux de la TA représentée en SADT.

5.1.1.6. La conscience de groupe et le contexte mutuellement partagé

La coopération en face-à-face présente un ensemble de propriétés qui facilitent l'émergence d'une conscience de l'activité collective, et qui constituent autant de contraintes au système qui la supporte (Clark et Brennan, 1991) : la co-présence⁷¹, l'échange d'informations implicites et explicites, la visibilité, l'audibilité, la co-temporalité, la simultanéité ou la séquence d'action (tours de parole, etc.), la mémorisation et la révision des productions. Le principal obstacle à l'efficacité du travail coopératif à distance réside alors dans le manque de cette conscience de groupe⁷² (Dumazeau, 2005 ; Kirsch Pinheiro, 2006). L'activité collective crée toujours une situation d'interdépendance structurelle et cognitive entre les acteurs qui s'y engagent (compréhension de la dynamique du groupe, situation des actions individuelles, coordination

⁷⁰ Dans la décomposition hiérarchique de SADT, le corps de l'action correspond au diagramme des opérations. Il peut utilement être complété par un diagramme d'activité UML.

⁷¹ Une heuristique de co-présence repose sur 3 hypothèses : l'hypothèse de simultanéité, l'hypothèse d'attention et l'hypothèse de rationalité (tous les interlocuteurs font les bonnes interprétations).

⁷² Selon Dourish et Bellotti (2002) « Awareness is an understanding of the activities of others, which provides a context for your own activity ».

des activités individuelles et collectives). Aussi, accroître la perception mutuelle⁷³ des acteurs et de leur travail, en mettant en place des indicateurs sociaux ([Ackerman et Starr, 1995](#)), des indicateurs de présence ([Ye et al., 2001](#) ; [Yoshida et al., 2003](#)) ou des indicateurs de coordination ([Sato, 2008](#)), c'est réduire leur dépendance cognitive, et donc réduire le nombre de transactions intellectuelles ([Zacklad, 2005](#)) nécessaires pour leur co-production et leur coordination. Bouthier ([2004](#)) synthétise, en quatre étapes, la construction de la conscience de groupe par un individu : (1) l'*agrégation* des informations élémentaires ; (2) le *filtrage* des informations complexes, selon le contexte et les ressources cognitives de l'individu ; (3) l'*interprétation* des informations ; et (4) l'*internalisation* des informations (ou appréhension).

Des typologies essaient de clarifier la notion de conscience de groupe. Bouthier ([2004](#)) propose de distinguer : conscience de présence, conscience des activités, conscience des documents, conscience des émotions, etc. Greenberg ([2001](#)) décrit quatre types de conscience : (1) l'*informal awareness*, couvrant les connaissances informelles sur la communauté de travail (qui est là ? Que pense-t-il faire ? Etc.) ; (2) la *social awareness*, couvrant les informations de la sphère sociale (est-ce qu'untel est attentif ? Intéressé ? Etc.) ; (3) la *group-structural awareness*, couvrant la composition du groupe (quel rôle ou responsabilité possède untel ?) ; et (4) la *workspace awareness*, couvrant les connaissances qu'un membre a du travail commun au sein de l'espace de travail partagé et de l'état des artefacts partagés, elle sert à la coordination des actions et à la détection des conflits (que fait untel ? Que regarde-t-il ? Etc.).

Si le contexte de travail est constitué de l'ensemble des informations caractérisant une situation ([Dey et Abowd, 2001](#) ; [Dourish, 2004](#)), pour construire et actualiser un contexte mutuellement partagé à distance, il ne suffit pas de rendre ces informations contextuelles accessibles⁷⁴, il faut aussi : (1) fournir les indices permettant à tous les acteurs de s'assurer que ces informations sont mutuellement perçues ([Dumazeau, 2005](#)) ; (2) évaluer la pertinence des informations et l'intérêt qu'elles représentent pour les acteurs ([Mesmer-Magnus et DeChurch, 2009](#) ; [Peng et al., 2010b](#)). Ce concept de *contexte partagé* se retrouve dans la notion de « base commune » introduite par Clark et Brennan ([1991](#)). Le contexte est indispensable à la coopération : un événement n'a pas un sens unique et objectif ; son sens est construit par son destinataire, qui le projette dans son propre contexte. Cette construction contextuelle⁷⁵ n'est pas sans rappeler la co-construction de sens proposée dans la logique interlocutoire ([Brassac, 1994](#)).

Clark et Marshall ([1981](#)) estiment que trois heuristiques permettent de faire l'hypothèse qu'une information contextuelle est mutuellement partagée par un groupe d'acteurs : (1) la co-présence physique : les acteurs ont été simultanément en présence physique avec l'information contextuelle ; (2) la co-présence linguistique : les acteurs sont informés de tous les faits énoncés au cours des conversations ; et (3) l'appartenance à une même communauté : les acteurs partagent les mêmes connaissances, relatives à leur communauté. S'il est largement admis que le partage d'informations contextuelles joue un rôle essentiel dans la coopération, ce partage n'est pas pré-établi ([Leinonen et al., 2005](#) ; [Chen et Atwood, 2007](#) ; [Brezillon, 2009](#)), il se construit dynamiquement en se reposant sur des processus plus ou moins intrusifs : l'observabilité mutuelle dont les mécanismes les plus élémentaires sont la rétroaction et le feedback, l'accès mutuel aux ressources artefactuelles et la communication.

En résumé, développer une *awareness* a pour objectif de permettre aux utilisateurs d'un SIC, de répondre aux questions « qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? », lorsque survient dans l'environnement de travail une interaction, une action ou un événement ([Leinonen et al., 2005](#)).

⁷³ La perception mutuelle « offre aux acteurs les moyens d'une prise d'information directe sur le champ d'intervention des partenaires qui réduit la dépendance cognitive et donc le nombre de transactions intellectuelles nécessaires pour se coordonner » (Zacklad, 2000).

⁷⁴ Kofod-Peterson et Cassens (2006) ont identifié cinq sous-catégories de contexte : environnemental, personnel, social, de tâche et spatio-temporel.

⁷⁵ « In other words, what I want to do here is to reconsider context, not as representational problem but as interactional problem » (Dourish, 2004).

Lonchamp (2003) propose six principes pour cette mise en œuvre : (1) le principe de collecte passive (non implication de l'utilisateur), (2) le principe de non distraction, (3) le principe de non interférence fonctionnelle, (4) le principe de différenciation des acteurs selon leurs rôles, (5) le principe d'adaptabilité aux souhaits des acteurs, et (6) le principe de liaison avec l'action. Il s'agit en effet d'assurer la pertinence des informations à partager (Peng et al., 2010a).

5.1.1.7. Les collecticiels pour instrumenter les activités coopératives

Le terme « collecticiel⁷⁶ » est moins ambigu que l'expression « système coopératif », souvent employée par ailleurs. Ellis et al. (1991) le définissent comme « *a computer based system that supports groups of people engaged in a common task and that provides an interface to shared environment* ». Un collecticiel est un logiciel dont la fonction principale est d'assister un groupe d'acteurs (vision activité) ou d'utilisateurs (vision outil) pour qu'ils puissent réaliser au mieux leur activité dans un espace partagé explicite (Carstensen et Schmidt, 1999). Cette activité peut être variée ; elle concerne aussi bien la conception de produits industriels, que l'enseignement, les relations commerciales, les jeux, etc. Il revient au SI de permettre aux utilisateurs de réaliser leurs tâches collaboratives à partir de leurs postes de travail respectifs ou depuis des installations spécialisées (salles virtuelles de co-conception, par exemple).

Il existe de nombreux points de vue pour classer les collecticiels : à partir de la finalité de la coopération, à partir de la caractéristique spatio-temporelle de l'interaction, à partir de la fréquence de la relation, selon les types de relations mises en jeu dans le processus coopératif, etc. Ces classifications s'appliquent sur différentes catégories de collecticiels : outils (fonctionnalités de base), systèmes centrés « tâches » (éditeurs collaboratifs, outils de mutualisation, agendas de groupe, outils de co-design, ...), systèmes centrés « process », plates-formes génériques, systèmes dédiés à un domaine d'application.

Les collecticiels doivent permettre à un groupe d'acteurs de collaborer dans un espace partagé explicite. Pour les développer, Lonchamp (2003) propose de considérer : la localisation spatio-temporelle des acteurs et de l'activité ; la richesse des modes de coopération dans le but d'accroître la co-production (asynchrone, en session, en réunion ou étroite) ; et la flexibilité multi-domaines (partage de données, contrôle d'accès, représentation de l'information, planification et exécution de tâches, etc.). Hoogstoel (1995) ajoute deux exigences à cette liste conceptuelle : (1) pour la structuration du groupe, favoriser l'implication individuelle dans le groupe, entretenir sa cohésion et favoriser son développement ; et (2) pour la conduite de l'activité collaborative, faciliter le partage de ressources, assister la coordination et la coopération et améliorer la communication. Cela se traduit par la nécessité d'améliorer les échanges entre les acteurs (cadre matériel de communication efficace) et de fournir des mécanismes de régulation (prise de tour de parole, par exemple).

La conception de collecticiel

L'outil influence fortement l'activité coopérative. Il permet au sujet de réaliser l'objet de l'activité, mais il le limite aussi en masquant une partie du potentiel de transformation de cet objet (Bourquin, 2000). Les outils supportent et complètent les compétences humaines dans la construction de systèmes plus efficaces, mais parfois plus complexes. Aussi, l'instrumentation des activités collaboratives ne doit pas ajouter ses propres niveaux de complexité (surcharge cognitive, par exemple), mais proposer aux futurs utilisateurs quatre types de médiations (Rabardel, 2005) : médiations épistémiques (connaissance pour l'activité), médiations pragmatiques (actions productives ou constructives), médiations réflexives (rapports que le sujet entretient avec lui-même) et médiations interpersonnelles (rapports à autrui). Ceci ne peut se concevoir sans une approche anthro-techno-centrée (Micaëlli et Fougères, 2007).

⁷⁶ « Ensemble des techniques et méthodes qui contribuent à la réalisation d'un objectif commun à plusieurs acteurs, séparés ou réunis par le temps et l'espace, à l'aide de tout dispositif interactif faisant appel à l'informatique, aux télécommunications et aux méthodes de conduite de groupe » AFCET (1994).

Dans la perspective de l'instrumentation d'une activité coopérative, l'ingénierie de la coopération propose d'analyser les pratiques de coopération des futurs utilisateurs, de spécifier, puis de développer un collecticiel destiné à les assister dans leurs activités coopératives et dans leurs prises de décisions collectives ([Boughzala, 2004](#)). Cette ingénierie s'intéresse à la fois aux interactions « acteur-acteur » et « acteur-outil » dans des situations souvent complexes ([Salembier, 2002](#)), nées de la nécessité de résoudre un problème ou du caractère critique d'une situation. Par conséquent, de nombreux modèles d'architectures de collecticiels ont été proposés ([Tarpin-Bernard et David, 1999](#) ; [Laurillau, 2002](#)).

L'analyse préalable de l'activité humaine est fondamentale pour la conception de collecticiels. L'apprentissage des principales fonctionnalités du collecticiel par les futurs utilisateurs peut se faire en suivant une démarche participative, notamment lors des phases de spécification, maquettage et prototypage ([Pougès et al., 1994](#)). Instrumenter le travail coopératif, c'est aussi apporter des solutions pour gérer les connaissances partagées par l'ensemble des acteurs, ce que Hoc ([2003](#)) nomme le *REFCOM*⁷⁷. Le collecticiel doit alors permettre d'acquérir les compétences des acteurs lorsqu'ils préparent la réalisation d'une action et de faire co-évoluer le *REFCOM* avec le déroulement de l'activité (élaboration et maintien du *REFCOM*).

Un collecticiel est à la fois un système interactif et un système distribué (les ressources et les utilisateurs sont géographiquement dispersés, dans un *MédiaSpace* par exemple). Lors de sa conception, il s'agit de penser à gérer non plus un mais plusieurs utilisateurs agissant en parallèle sur des données partagées. D'un point de vue technique, un collecticiel doit gérer la concurrence et le contrôle des accès. L'architecture des collecticiels soulève donc des problèmes techniques pas simples à résoudre qui ne doivent pas occulter les autres aspects. Considérant que les utilisateurs évoluent dans leur activité, la conception des collecticiels actuels tend vers la co-évolution ([David, 2004](#)). Il s'agit de réaliser des systèmes dans lesquels les acteurs définissent eux-mêmes les modalités de l'organisation du groupe, son fonctionnement, les caractéristiques de l'espace partagé ainsi que les outils qu'ils souhaitent utiliser. L'espace de travail et ses lois sont ainsi configurés par les usagers eux-mêmes et ils évoluent de manière dynamique, au cours de l'activité elle-même. Bourguin ([2000](#)) parle d'applications malléables, à la fois utilisables et modifiables par ses propres utilisateurs. L'activité de redéfinition correspond elle-même à une des facettes de son utilisation.

En résumé, la conception d'un collecticiel peut s'appuyer sur des phases d'observation, d'analyse et de modélisation des pratiques collectives, suivant la relation triangulaire *Activité-Connaissances-Organisation* ([Teulier et Girard, 2005](#)) ou sur la base de scénarii d'activités coopératives (approche à base de scénarii) :

- observations des groupes : structure, orientation, rôles des participants, modes d'interactions et de communication des acteurs, normes, etc. ;
- analyse et modélisation de l'activité : structuration (décomposition en phases, distinguant les phases individuelles et collectives), identification des acteurs et de leur organisation (composition de groupes), organisation de l'activité (agenda), instrumentation de l'activité.

L'approche à base d'agents pour la conception de collecticiels

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 4, les principales caractéristiques des agents (autonomie, adaptabilité, coopération et communication) permettent : d'une part, de gérer efficacement des composants distribués, hétérogènes et autonomes, et, d'autre part, de faciliter les échanges d'informations et le partage de ressources entre les composants (communication et coopération). Aussi, l'idée n'est pas neuve d'utiliser le paradigme agent pour concevoir des systèmes complexes, interactifs, distribués ou coopératifs. De nombreux chercheurs ont trouvé dans cet ensemble de caractéristiques le moyen de concevoir efficacement les systèmes d'information ([Wagner, 2003](#)), les systèmes d'information coopératifs ([Hérin et al., 2001](#)) ou les collecticiels ([Wainer et Ellis, 1998](#)). Ellis et Wainer ([1994](#)),

⁷⁷ Référentiel commun : structure de connaissances et de représentations partagée.

après avoir proposé un modèle conceptuel de collecticiel (ontologie, coordination et interface utilisateur), ont montré l'adéquation du concept d'agent pour concevoir de tels systèmes ([Wainer et Ellis, 1998](#)). Leur proposition s'étend à tout type de groupes : de l'équipe au groupe ouvert, dans lequel les membres ne se connaissent pas nécessairement. Les champs d'application des agents dans les collecticiels sont étendus : du général, la tenue de conférences entre participants éloignés ([Routier et Mathieu, 2001](#)) par exemple, au spécifique, les plates-formes d'apprentissage par projet ([Bousmah et al., 2006](#)) entre autres.

Plus précisément, l'apport potentiel des agents aux collecticiels concerne ([Grislin-Le Strugeon et al., 2001](#)) : la prise en charge d'actions répétitives et la délégation de tâches sans intérêt pour l'utilisateur – meilleure répartition des rôles du couple homme-machine ([Boy, 2003](#)) ; la prise de décision par compréhension du contexte d'usage (pertinence) ; la personnalisation de l'information (préférences, buts et capacités des utilisateurs) ; une interactivité plus naturelle (modalités, présentation) ; l'adéquation aux systèmes en réseau et/ou coopératifs et la sécurité qu'ils peuvent leur apporter ([Huin et Boulanger, 2007](#)).

5.1.1.8. Un cas particulier : la coopération en conception mécanique

La conception⁷⁸ de produits industriels commence par la formulation du problème et va jusqu'à la création d'une configuration industrialisée du produit ([Perrin, 1999](#) ; [Pahl et Beitz, 2003](#)). Cette activité est distribuée, collective, génère des connaissances et produit des artefacts. Elle nécessite la coopération et la coordination de divers acteurs métiers porteurs de connaissances propres à leur domaine ([Visser, 2001](#)). Les processus d'interaction en conception distribuée peuvent être étudiés ([Nicolle et al., 2003](#)). Des outils d'aide à la conception sont mis à la disposition des acteurs, pour supporter leur activité de création d'objets, éventuellement intermédiaires ([Jeantet, 1998](#)), et leur permettre : la représentation du produit, l'évaluation du produit, la mémorisation des contextes de résolution de problème, ainsi que des connaissances (locales ou génériques) acquises ([Prudhomme et al., 2005](#)).

Selon Lang et al. ([2002](#)), les outils d'aide à la conception distribuée doivent être concentrés sur les problèmes relatifs à : (1) la méthodologie de conception ; (2) la collaboration (la synchronisation cognitive, le développement de mémoires partagées, la négociation, la communication des connaissances, la gestion des tâches, la gestion de l'espace de travail partagé, l'organisation des motivations, l'assurance des rôles et des responsabilités) ; et (3) la gestion des connaissances et des représentations durant la conception ([Visser, 2006](#)).

L'activité de conception est de nature créative et n'est donc pas planifiable ([Choulier, 2008](#)). Elle est néanmoins constituée de phases marquées par des jalons. Dans une phase donnée, l'enchaînement des tâches réalisées se négocie de manière opportuniste entre les acteurs de la conception. Quatre niveaux de complexité sont souvent invoqués pour caractériser la conception ([Visser, 2001](#)) : (1) la *conception routinière* – les concepteurs disposent d'un plan a priori pour la solution ; (2) la *re-conception* – une conception existante est modifiée, pour s'adapter à de nouveaux besoins ; (3) la *conception innovante* – une décomposition du problème est connue, mais les alternatives de conception des composants ne le sont pas ; et (4) la *conception créative* – les concepteurs ne disposent pas de plan a priori de solution. La coordination des facteurs humains et organisationnels, et la volonté de coopérer, contribuent à la convergence des processus cognitifs dans la conception ([Darses, 2005](#)). Les rapports entre un groupe de concepteurs et l'organisation d'une activité de conception peuvent être envisagés selon deux points de vue complémentaires : (1) sur les formes d'organisation : organisation planifiée ou flexible ([Maggi et Lagrange, 2002](#)) ; et sur (2) les modes de conception collective : co-conception, développement conjoint de solution et synchronisation cognitive (contexte partagé), ou conception distribuée, coopération par accomplissement de tâches prédéfinies et synchronisation opératoire ([Darses et al., 2001](#)). Selon le contexte organisationnel considéré,

⁷⁸ Il existe une multitude de définitions de la conception (Love, 2002) ; nous soulignerons seulement qu'il s'agit d'un « *champ de pratiques multimodales, interdisciplinaires, et intégratives* » (Choulier, 2008).

l'étude de la conception peut être réalisée à un niveau micro, méso ou macroscopique ([Micaëlli et Forest, 2003](#)) ; nos travaux portent sur les deux premiers niveaux.

L'ingénierie collaborative propose des méthodes et des outils pour organiser, gérer et faciliter les interactions entre concepteurs et experts métiers, souvent distants ([Shen et Barthès, 1995](#); [Noel et al., 2003](#)). Cette ingénierie peut être simultanée (réduction des délais de conception par chevauchement d'étapes), concourante (conception en parallèle et au plus tôt des produits/process), intégrée (conception multi-métiers dans un même environnement logiciel), ou congruente (co-conception entre entreprises de métiers différents). Ces dernières années ont amorcé une nouvelle étape pour l'ingénierie concourante, caractérisée par un principe « d'intégration » (organisationnelle, instrumentale et contractuelle) des métiers de concepteurs ; intégration qui requiert une réelle coopération entre les métiers. Assister la coopération des acteurs en conception suppose alors de faciliter leurs actions et leurs interactions (notamment leur communication), d'améliorer les situations coopératives de conception (co-conception et/ou conception distribuée), de faciliter l'organisation des groupes de projet (coordination des tâches, par exemple) ; et ceci afin de faire émerger « intelligence et innovation » en conception ([Yannou et Deshayes, 2006](#)).

Un acte de conception correspond à l'interaction entre concepteurs de groupes de conception. Il est donc observable. Chaque acte constitue un aller-retour entre les concepteurs et un fond commun (connaissances, compétences métiers, ressources, etc.). L'ensemble de ces actes fait progresser la conception, enrichit le fond commun et les compétences des concepteurs. Aussi, l'étude du processus de conception collaborative a suscité de nombreux projets travaillant sur la base de corpus d'expériences : le projet *GRACC*⁷⁹, dont l'objectif est de valider des modèles d'organisation et de comportement à partir d'une classification de situations typiques de conception collaborative ([Blanco et al., 2002](#)) ; le projet *EIFFEL*⁸⁰ ([Visser, 2001](#)), dont l'objectif est de dégager des invariants cognitifs permettant de mieux caractériser les raisonnements individuels et collectifs en conception ([Darses et al., 2001](#)) ; la collecte d'informations de coopération avec le questionnaire *ProTeam* pour l'analyse de l'influence des attitudes individuelles en co-conception ([Lauche, 2005](#)).

Pour comprendre le processus de conception collaborative nous avons proposé d'analyser la coopération des acteurs au travers de leur communication verbale ([Movahedkhah, 2006](#) ; [Fougères et al., 2006](#)). Le processus d'analyse se déroule en cinq phases : (1) le recueil des données du corpus, l'acquisition et la mise en forme du corpus, (2) la modélisation formelle du corpus (modélisation matricielle des interactions entre entités d'analyse), (3) l'identification des modèles d'interactions, (4) la validation du modèle par l'analyse, et (5) l'interprétation des résultats. Le corpus utilisé est issu de l'expérience *GRACC* ; il est composé de 500 interventions. Ce corpus a été décomposé en un ensemble de discussions (formalisées dans une matrice émission/réponse) où les échanges entre acteurs sont définis par le sextuplet :

Echange = <Ae, Ar, Ie, Me, Ir, Mr> (5.3)

avec Ae et Ar, les acteurs émission et réponse, Ie et Ir, les identifiants d'intervention émission et réponse, et Me et Mr, les messages émission et réponse.

Movahedkhah ([2006](#)) a proposé cinq indicateurs pour exprimer les relations causales entre les différentes propriétés internes des discussions : des indicateurs d'émission, de réponse, de coopération, de réciprocité, de productivité (taux d'intervention d'un acteur dans une discussion). Ces indicateurs permettent d'identifier l'émergence de micro-groupes (caractérisés par la cohésion de groupe), l'émergence d'un acteur clé (acteur « leadership »), le type de coopération (complète, bilatérale ou quasi-nulle) et l'émergence de clusters des discussions. Ce travail est à la base de la conception de la plate-forme *ACCID* ([Fougères et al., 2006](#)). Les perspectives offertes par *ACCID* sont : l'analyse inter-discussions pour identifier des propriétés

⁷⁹ Groupe de Recherche sur l'Activité de Conception Collaborative.

⁸⁰ Projet commun de recherche CNAM-INRIA « Cognition et coopération en conception ».

du processus de conception collaborative telles que l'auto-organisation, la dynamique du groupe, la convergence/divergence des discussions (focalisation du groupe vers une solution).

Pour clore cette section, notons que l'utilisation du paradigme agent est fréquemment proposée en conception collaborative ([Garro, 1996](#) ; [Shen et al., 2001](#) ; [Sun et al., 2001](#) ; [Smith et Gero, 2005](#) ; [Marik et Mc Farlane, 2005](#) ; [Monostori et al., 2006](#)).

5.1.2. Comment améliorer la conception de collecticiels ?

Dans ([Micaëlli et Fougères, 2007](#)) nous avons proposé de passer d'une conception technocentrée à une conception anthropo-techno-centrée : la conception technocentrée fait appel à l'étude du monde des objets, alors que la conception anthropo-techno-centrée y ajoute l'analyse des interactions (réalisation d'actes de langage) et des transactions (transferts de droits et de devoirs) entre le concepteur d'un artefact et son futur utilisateur. Selon Forest ([2007](#)), les interactions entre concepteurs et utilisateurs répondent à trois modes distinctifs : (1) un *mode intégratif* dans lequel le concepteur prend seul en compte les contraintes de l'utilisateur et de l'usage de l'artefact, (2) un *mode ergonomique* dans lequel le concepteur s'engage à concevoir un système adapté à l'utilisateur ou à l'usage, (3) un *mode convivial*, caractérisé par un co-développement faisant appel aux compétences du concepteur et à celles du futur utilisateur de l'artefact. Ce dernier mode est souvent qualifié de *participatif*⁸¹.

Pour Simon ([1969](#)), un artefact désigne une entité conçue par l'homme pour répondre à ses besoins, architecturée par son concepteur, et dont l'évolution (artificielle) repose sur des reconceptions successives, induites par son usage. La conception participative ou démarche intégrative centrée utilisateur est une réponse intéressante : « *non plus concevoir pour l'utilisateur mais concevoir avec lui* » ([Caelen et al., 2005](#)). Conception selon les usages, que préconise aussi Nicolle ([2006](#)) avec un point de vue d'ergonomie cognitive : « *tenir compte des usagers dès les premières étapes de la conception alors que l'ergonomie traditionnelle propose des améliorations une fois le produit réalisé* ». Ces considérations s'étendent de toute évidence à l'instrumentation des activités coopératives et à la conception des artefacts coopératifs associés ([David, 2001](#) ; [Salembier, 2002](#) ; [Soubie et Zaraté, 2003](#)).

Par ailleurs, la TA peut être d'une grande utilité dans la genèse instrumentale des activités coopératives ([Kaptelinin, 2003](#) ; [Rabardel, 2005](#)) : aussi bien pour la conception du système coopératif, tel le système *DARE* de Bourguin ([2000](#)), que pour la modélisation des processus d'organisation du travail coopératif, tel le modèle *Cowos* de Taurisson et Tchounikine ([2006](#)).

Progressivement nous avons développé une approche praxéologique de la conception de systèmes coopératifs : une modélisation d'activités coopératives préalable à la conception de systèmes coopératifs, la généralisation de l'analyse de l'activité selon la TA et la proposition de la démarche d'instrumentation participative *IC*⁸². Les principaux projets de recherche ayant participé à cette maturation et qui illustreront ce chapitre, sont par ordre chronologique :

- la gestion de projets d'étudiants dans *iPédagogique*, avec la modélisation des activités coopératives (gestion, suivi et évaluation) et la conception d'un assistant logiciel ;
- la plate-forme *PLACID*, avec la conception de la couche d'agents coopératifs (architecture, activité et interactions des agents) et l'intégration de μ -outils par agentification ;
- les μ -outils coopératifs, avec l'analyse d'usages coopératifs, la modélisation de la coopération et la proposition d'une méthodologie de conception de μ -outils coopératifs.

⁸¹ « *Un processus de conception collectif est une activité de conception participative où tous les acteurs sont considérés comme des experts et leur participation est basée sur leurs connaissances propres plutôt que sur les rôles qu'ils jouent ou les intérêts qu'ils représentent.* » ([Caelen et al., 2005](#)).

⁸² Identification, Conception et Intégration : démarche décrite dans ([Fougères et Micaëlli, 2006](#)).

5.2. Application : *iPédagogique* pour la gestion de projets d'étudiants

Dans l'intention d'illustrer notre approche, considérons le système coopératif de gestion de projets d'étudiants intégré dans l'outil *iPédagogique*, présenté au chapitre 3, et qui s'inscrit ici dans le domaine du CSCL⁸³ ([George et Leroux, 2001](#)). La gestion, le suivi et l'évaluation de projets sont des activités coopératives dans lesquelles, étudiants, enseignants et systèmes pédagogiques sont de véritables partenaires. Nous nous sommes alors intéressés à la modélisation, puis à l'instrumentation de ces activités coopératives ([Ospina et Fougères, 2005](#)). La TA offre un cadre bien adapté pour une telle modélisation d'activités et leurs médiatisations par des outils logiciels de type EIAH ([Bourguin, 2000](#)). Les deux caractéristiques suivantes contribuent, elles aussi, à justifier la démarche de développement orientée activité, adoptée :

- C1 : *les EIAH sont des systèmes complexes, multi-usages* (ponctuels, continus ou discontinus, en présentiel ou à distance) *et multi-utilisateurs*. Ce caractère distribué et coopératif, justifie par ailleurs le développement conjoint d'un système de médiation, thème du chapitre 6 ;
- C2 : *les EIAH sont devenus des collecticiels*. L'instrumentation de l'activité de projets d'étudiants en est une illustration : coopération entre les étudiants du groupe projet, entre les étudiants et l'enseignant tuteur, entre les membres de l'équipe enseignante, entre les acteurs et l'EIAH, entre les acteurs du moment et les futurs acteurs (mémorisation d'activité).

5.2.1. Présentation

Traditionnellement, le projet est une activité qui s'inscrit dans le processus d'apprentissage et de validation d'unités de valeur techniques. Comme support d'apprentissage il est quasi-systématiquement adopté par le corps enseignant dans sa démarche pédagogique, avec une quote-part variant entre le quart et la moitié du temps consacré à l'UV et à l'évaluation finale. Cependant cette activité est peu supportée par des systèmes pédagogiques ([Tchounikine, 2002](#)). Les raisons en sont nombreuses. Notons la complexité de cette activité qui associe des acteurs variés : les étudiants, les enseignants (experts et tuteurs), l'administrateur, sans oublier l'outil support pédagogique. Ces acteurs interagissent entre eux de multiples manières : ils s'adaptent continuellement, coopèrent, communiquent et négocient. Les projets d'UV, dans les phases d'initialisation par l'enseignant expert, de conduite par les groupes d'étudiants, de suivi par les enseignants tuteurs et d'évaluation par les enseignants évaluateurs, mettent en jeu des procédés pédagogiques d'initialisation, de gestion, de suivi et d'évaluation. Ces procédés sont complexes. En plus d'être grandement interactifs et multipartenaires, ils gèrent de très nombreuses données et relations entre ces données, et sont évolutifs. Ainsi le processus de conception et de développement de projet logiciel peut se décomposer, selon sa nature (cycle en V, prototypage rapide, etc.), en de nombreuses activités tout le long du projet (figure 21.a). Ces activités sont sujettes à de nombreuses itérations (nouveaux besoins, nouvelles spécifications, revues et corrections, améliorations, tests, intégrations, planning du projet, etc.).

⁸³ *Computer-Supported Collaborative Learning* (apprentissage collaboratif assisté par ordinateur)

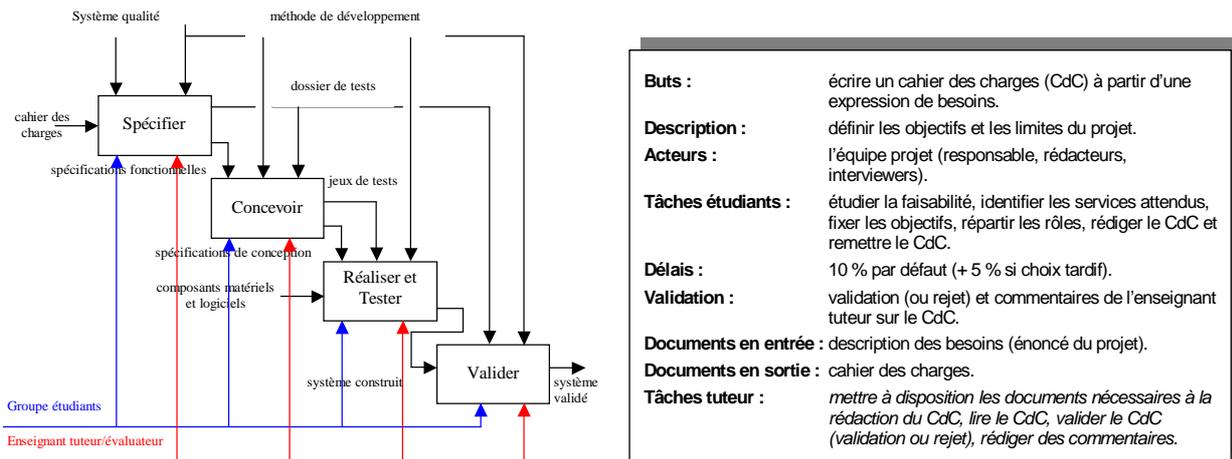


Figure 21. a) La gestion de projets d'étudiants (GPE) : une activité coopérative ; b) Fiche de définition de la première tâche à mener dans la phase 1 : « Rédiger le cahier des charges »

5.2.2. Description de l'application

Selon Betbeder et Tchounikine (2005) la conception d'une activité collective médiatisée dans un contexte d'apprentissage peut suivre quatre objectifs : (1) l'apprentissage d'un domaine, (2) le développement de compétences (analyse, synthèse, évaluation, etc.), (3) l'apprentissage du travail collectif, ou encore (4) la structuration d'un public cible en une communauté d'apprenants (liens sociaux). Dans une pédagogie par projet ces quatre objectifs sont visés. Le concept de projet et les processus associés (création, développement, gestion, suivi, validation, etc.) restent cependant des notions très abstraites ; nous ne considérons ici que la conception de projets logiciels. Cependant, nous ne doutons pas de l'extension de notre démarche à d'autres domaines techniques puisque nous nous inscrivons dans un processus de conception plus général, une « systémique universelle » (Matta et al., 1999 ; Potteck, 2009) :

```

Conception de Projet ::= [ Définition (besoins),
                          Elaboration (spécifications, architecture),
                          Développement (système) ]                (5.4)

```

Dans les deux sections suivantes nous décrivons brièvement la modélisation des activités de gestion de projets d'étudiants (GPE) et de suivi de projets d'étudiants (SPE). Ces modélisations orientées par la TA (figure 21.b), utilisent les modèles de l'organisation, des tâches et des acteurs, de *CommonKADS* (Ospina, 2007). Elles constituent la base de notre proposition de système d'assistance pour la plate-forme *iPédagogique* (Ospina et al., 2005).

5.2.2.1. Modélisation de l'activité de GPE

La gestion de projet comporte deux fonctions : la direction de projet (décisions stratégiques ou tactiques) et la gestion de projet proprement dite (décisions opérationnelles). Aussi, entrant dans une logique de projet, les étudiants accomplissent des activités variées telles que : identification des tâches à mener (structuration), détermination des quantités/qualités de ressources nécessaires aux tâches (estimation), définition des rôles, affectation des ressources, identification des contraintes (organisation), maîtrise du calendrier et des risques (planification), établissement de l'enchaînement des tâches, définition des priorités, synchronisation (ordonnancement), contrôle périodique de l'avancement réel du projet (suivi).

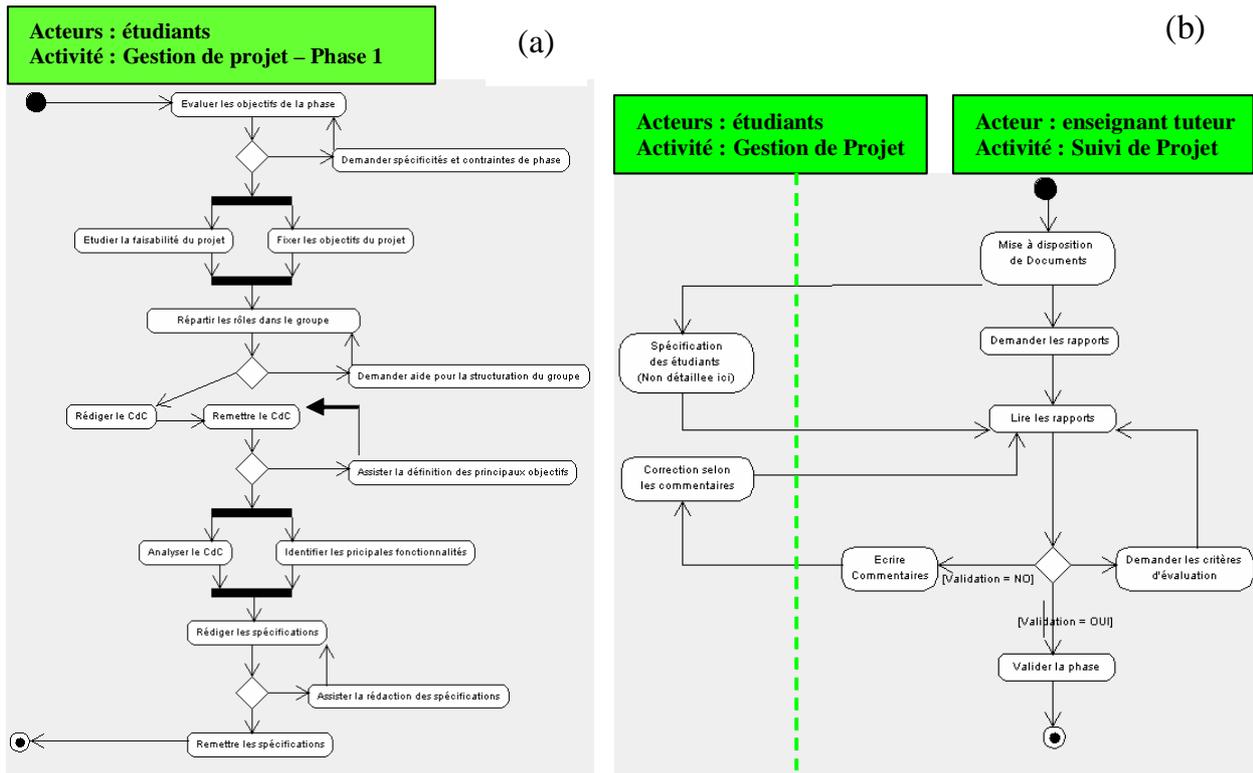


Figure 22. Diagrammes d'activité de la phase 1, (a) pour la GPE, et (b) pour la SPE

Un modèle objet du développement de projets logiciels a été conçu pour faciliter la coopération dans les activités de suivi et de gestion des projets ([Fougères et Ospina, 2004](#)). Le modèle de tâches rassemble les diagrammes d'activité de chacune des phases de la GPE (figure 22.a). Dans ([Canalda et al., 2002](#)) nous avons présenté une première approche de GPE fondée sur une synchronisation de fragments de procédés coopératifs. Nous l'avons étendue en spécifiant l'activité de suivi et en y joignant la composante de médiation ([Ospina et al., 2005](#)).

5.2.2.2. Modélisation de l'activité de SPE

Pour la structuration et l'évaluation des projets d'étudiants nous avons proposé un processus de suivi de projets. Les acteurs d'un projet interagissent continuellement (coordination, communication et négociation). En plus d'être interactifs et multipartenaires, les procédés pédagogiques déployés dans la SPE comportent de nombreuses données et relations, et sont évolutifs. Le processus de SPE (figure 22.b) doit permettre : (1) aux enseignants, d'aider les étudiants dans leur démarche, d'apprécier la complexité des projets proposés et d'évaluer finement le travail réalisé ; et (2) aux étudiants, de mesurer l'état d'avancement de leur projet, d'élaborer des actions correctrices, de structurer la conception et de produire une synthèse.

5.2.2.3. Proposition d'un système d'assistance intégré dans iPédagogique

Le système d'assistance intégré dans *iPédagogique* est constitué de cinq agents d'assistance (figure 23.a) : un assistant de gestion d'UV, un assistant pour la GPE, un assistant de profil utilisateur, un assistant pour l'utilisation des formulaires et un assistant tutoriel. Notons que le nombre de cinq agents n'est pas arrêté ; il correspond seulement à un stade expérimental. L'étude des services rendus par l'environnement nous a permis d'identifier cinq classes d'utilisation et d'y associer systématiquement un assistant logiciel. Après avoir validé cette approche globale d'assistance ([Ospina et al., 2005](#)), nous nous sommes concentrés sur les aspects exclusivement coopératifs de l'usage d'*iPédagogique* pour proposer le concept de système de médiation ; ce que nous développerons dans le chapitre suivant (*cf.* § 6.2)

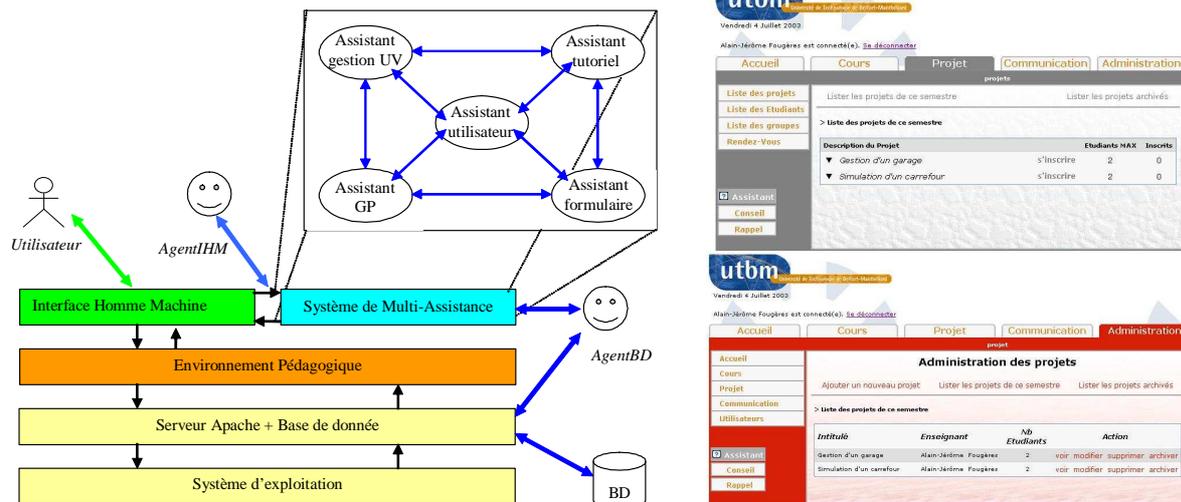


Figure 23. a) Architecture d'Éducation avec visualisation des agents d'interfaces ; b) les onglets "Projet" pour les étudiants et "Administration" pour l'enseignant responsable.

5.3. Application : intégration de μ -outils d'évaluation de performance dans PLACID

Cette section présente la plate-forme *PLACID*, ainsi que les μ -outils coopératifs qu'elle supporte, conçus pour assister l'activité de concepteurs de systèmes mécaniques (Fougères et al., 2004 ; Fougères et Micaëlli, 2006 ; Fougères, 2010). Un μ -outil est destiné à une tâche très précise, dont il va faciliter ou améliorer l'exécution, tout en laissant à son utilisateur toute latitude dans l'organisation de son activité. *PLACID* repose sur le paradigme agent, aussi bien pour la modélisation et le développement des différentes couches de la plate-forme, que pour celles de ses interfaces. À ces particularités de la plate-forme s'ajoutent des contraintes fortes de souplesse et d'adaptabilité, visant à faciliter l'intégration de nouveaux outils d'assistance à l'activité collaborative (outils de réalisation de tâches et de résolution collective de problèmes). Pour illustrer notre approche nous présenterons la conception de μ -outils intégrables dans un atelier coopératif d'évaluation de performance.

5.3.1. Présentation

L'une des causes de l'accroissement des activités collaboratives dans le monde industriel ou tertiaire tient à l'élévation de la complexité des conditions d'offre des produits et des services. Une automobile requiert de plus en plus de conception, donc de services incorporés. Le moindre dossier bancaire suppose la mobilisation de nombreux professionnels du *front office* (relation avec la clientèle) ou du *back office* (traitement des dossiers). Assister ces deux activités suppose de mettre à disposition des acteurs de ces secteurs de véritables bureaux⁸⁴ virtuels permettant : la communication interpersonnelle ou de groupe, la structuration spatio-temporelle et la coordination des tâches réalisées, la distribution et le partage d'informations, d'applications, de ressources le plus souvent nombreuses, variées et hétérogènes.

Différents spécialistes interviennent dans le développement d'organisations, de compétences et d'outils à visée collaborative. Leur association avec des informaticiens résulte de la volonté de proposer des concepts, des méthodes et des outils susceptibles de répondre aux fonctions listées ci-dessus. Dans cette perspective, nous avons proposé la conception de μ -outils destinés à assister les activités de conception collaborative (ou co-conception), plus

⁸⁴ Proposer un bureau d'activité, c'est-à-dire opter pour une approche intégrée de la médiatisation d'une activité, permet de réunir l'ensemble des outils nécessaires à l'activité dans une même interface.

particulièrement dans le domaine de la conception de produits mécaniques. Les μ -outils ([Van Handenhoven et Trassaert, 1999](#) ; [Fougères et Micaëlli, 2006](#)) sont des applications logicielles légères, faciles d'utilisation, insérables dans un environnement partagé et connectables entre elles. Pour supporter l'usage des μ -outils nous avons développé la plate-forme agent *PLACID*. Celle-ci offre un contexte technique susceptible d'apporter une assistance à la co-conception, qu'elle soit guidée ou non par des processus de type workflow.

Les μ -outils supportés par *PLACID* ne sont pas nécessairement intégrés dans un processus prédéfini de conception. Leur utilisation peut être ponctuelle, apportant un service bien ciblé dans une phase de conception. Il participe alors pleinement au processus d'émergence intrinsèque à la conception distribuée ([Garro, 1996](#)). Chaque μ -outil est connecté au système d'agents de *PLACID* par agentification ; ce qui établit une interface de communication entre les μ -outils et le système d'information coopératif. Les agents de la plate-forme sont de type application (outils d'aide à la co-conception), coordinateur/médiateur, système et interface. L'utilisation effective du système se fait dans un contexte multi-utilisateurs.

Les travaux et les outils relatifs au collecticiel donnent un cadre global d'assistance à l'activité collaborative. Celui-ci s'avère nécessaire mais non suffisant. Il doit être complété par une vision plus « microscopique » ([Micaëlli et Forest, 2003](#)), focalisée sur les processus opératoires et les nombreuses tâches ponctuelles, itératives, menées de façon opportuniste, sur laquelle repose l'activité collaborative. C'est pour les assister que nous avons proposé le concept de μ -outil ([Fougères et Micaëlli, 2006](#)). Nous distinguons deux types de μ -outils : les μ -outils adaptés à la conception de produits et les μ -outils d'aide à la coopération dans les activités de conception (les micro-outils coopératifs ou MOC). Ces derniers sont distribués entre des acteurs qui interviennent par exemple, dans le cadre d'une co-conception ou d'une évaluation collaborative, selon leurs domaines de compétences (métiers, vues, ...). Le résultat de ces actes collaboratifs consiste en un objet dit collaboratif. Il peut s'agir, en conception, d'un objet intermédiaire, d'un cahier des charges, d'un schéma ou d'une feuille de calcul ([de Terssac et Friedberg, 1996](#)). Nous avons évoqué que le CSCW en tant qu'activité sociale implique la communication, l'organisation et la distribution d'informations ; les MOC constituent une réponse à cette nécessité en se focalisant sur le niveau de la tâche.

L'originalité du μ -outil ne réside pas seulement dans sa nature, mais aussi dans son processus de développement. Celui-ci repose en effet sur deux principes :

- *La focalisation*. La TA, étant à la base de notre démarche d'analyse de l'activité, nous pouvons alors établir, selon une vision multi-échelles, les trois co-relations suivantes : (1) les collecticiels correspondent au niveau des activités, (2) les μ -outils au niveau des tâches et (3) les fonctionnalités à celui des opérations (tableau 6). Ainsi les μ -outils permettent de décomposer un logiciel (complexe) en un ensemble de modules adaptés à la réalisation de tâches élémentaires. Plusieurs de ces μ -outils peuvent être associés pour accomplir des tâches plus complexes.
- *La classification*. Tout μ -outil peut être décrit selon une démarche méthodologique structurée : identification – classification – qualification – quantification.

Niveau	Cible de la TA	Volition	Système d'information coopératif
Macro	Activité	Motivation	Collecticiel
Méso	Tâche complexe ou composée	But commun	μ -outils coopératifs
Micro	Action/Tâche	But opératoire	μ-outil
Nano	Opération	Conditions	Fonctions/Méthodes d'un agent

Tableau 6. Correspondance dans la stratification de l'activité humaine et des SIC.

Ces deux principes permettent de dresser un paradigme de la nature et du développement du μ -outil, caractérisé par cinq propriétés : (1) son usage est individuel ou collectif (cas des activités collaboratives et/ou distribuées) ; (2) les tâches qu'il assiste sont supposées pouvoir être agencées au sein d'un plan d'actions ; ce qui signifie qu'il est nécessaire de spécifier les conditions d'usage du μ -outil, le cycle de vie des objets traités et leurs conditions de partage ; (3) son interaction avec l'utilisateur porte essentiellement sur l'acquisition de données (objets de l'activité), leur mise en relation, leur accès et leur gestion ; (4) son identification et sa description résultent d'un travail participatif (expert, utilisateur, concepteur) et pluridisciplinaire ; la réalisation de maquettes étant recommandée comme facilitateur d'échanges d'idées ; (5) son développement respecte les principes d'une démarche de qualité logicielle.

Les situations de travail auxquelles nous nous sommes intéressés, sont caractérisées par deux niveaux de flexibilité : (1) une organisation matricielle des projets et des activités, basée sur l'association des compétences des acteurs participants ([Perrin, 1999](#)), (2) des activités de conception souvent organisées de façon opportuniste ([Visser, 2001](#)). Pour le cas particulier de l'évaluation de performance développé ici, cela se traduit par : (1) considérer le collectif davantage comme une communauté de pratiques, éventuellement multi-métiers ([Wenger, 1998](#) ; [Wenger et al. 2002](#) ; [Zacklad, 2005](#)) ; et (2) faciliter l'auto-organisation du collectif, notamment par l'usage de MOC, conçus pour offrir au collectif l'espace nécessaire à la coopération (prescrite ou émergente), à la négociation et à la concertation.

5.3.2. Description de l'application

Pour valider le concept de μ -outils comme artefacts de collaboration, nous avons conçu une application de réunion électronique, dénommée « Papoticiel », composée de μ -outils pour : la gestion de groupe d'utilisateurs, la maintenance d'un agenda, la mémoire des conversations, l'édition de compte-rendu de réunion ([Fougères, 2004](#)). Depuis nous avons lancé trois chantiers de développement de μ -outils : (1) pour l'aide au déploiement de la méthodologie TRIZ⁸⁵ ([Weit  et al., 2006](#)), (2) pour l'analyse fonctionnelle ([Fougères et Micaelli, 2006](#)), et (3) pour l'évaluation des performances en ingénierie de systèmes manufacturiers ([Deniaud et al., 2006a](#)) ; [Micaelli et Fougères, 2007](#)). Nous détaillons ce dernier dans la section suivante.

5.3.2.1. L'activité d'évaluation collaborative

L'instrumentation présentée dans cette section vise à aider le développement collaboratif⁸⁶ d'un graphe d'évaluants (GÉVA). Cette forme d'instrumentation a été initiée par Kaplan et Norton ([1992](#)), avec le concept de tableau de bord prospectif. L'application MOCÉVA en propose une généralisation formelle (le tableau de bord prospectif est une occurrence du GÉVA) et logicielle. En effet, MOCÉVA entend combler le vide qui existe entre la conception, amont, d'un graphe d'évaluants et le développement, aval, d'applications associées au système d'information performantiel (progiciel comptable, tableur, etc.) ou au système d'information de l'organisation (progiciel de gestion intégré). Notre idée est de palier l'absence d'outils logiciels à la fois intégrés (couvrant l'ensemble du processus de conception du système d'évaluation de la performance) et collaboratifs (multi-métiers, multi points de vues).

5.3.2.2. Conception de MOCÉVA

Avant d'instrumenter l'activité d'évaluation de performance, qui ne l'est pas encore, il convient d'apprécier si des μ -outils lui apportent un réel service. Pour l'établir, nous avons comparé termes à termes les particularités de l'activité évaluative décrite à un niveau microscopique avec celles de la conception du graphe d'évaluants à l'aide d'une application collaborative

⁸⁵ *Teoria Reschenia Izobretateliskih Zadaci*, théorie de résolution de problèmes, orientée innovation.

⁸⁶ Dans *L'évaluation créative* (Micaelli et Fougères, 2007), nous avons posé deux postulats préalables à l'instrumentation d'une évaluation : le premier, dit anthropocentrique, signifie que l'évaluation est une conduite spécifiquement humaine, et le second, dit artificialiste, stipule que l'évaluateur doit concevoir son système d'évaluation. Cette conception est elle-même une tâche collaborative.

(Micaëlli et Fougères, 2007). Il est apparu effectivement que les μ -outils collaboratifs apportaient une assistance significative à certaines opérations évaluatives. Une fois la pertinence fonctionnelle du μ -outil évaluatif justifiée, il reste à le réaliser – et ce, en suivant les préconisations du modèle que nous avons proposé : le modèle *ICI* (Fougères et Micaëlli, 2006).

Délimitation de l'activité.

Un premier modèle SADT permet de circonscrire globalement l'activité à instrumenter (réaliser un GÉVA) ; cette phase a aussi pour objectif de fournir un rapport d'évaluation et de développement, rédigé par le collectif d'évaluateurs. Ce rapport doit suivre un certain nombre de règles professionnelles (le savoir devoir-faire). Par convention, l'un des évaluateurs dispose du statut de chef du projet évaluatif, les autres étant dits « parties prenantes ». L'activité utilise comme ressources, certains éléments tirés de la base de métier ou des modèles externes. Enfin, elle est désignée par une métonymie fonctionnelle : évaluer, c'est réaliser un GÉVA.

Identification des μ -outils.

MOCÉVA doit aider des évaluateurs à réaliser leur activité collective : la co-production d'un GÉVA correctement formulé (tableau 7). Plus précisément, *MOCÉVA* doit répondre à cinq exigences : (1) définir des évaluants ; (2) associer les évaluants entre eux à l'aide de corrélations ou de relations causales, et créer ainsi un GÉVA logique ou arithmétique ; (3) réaliser des opérations de base sur le GÉVA : générer, construire, éditer, restreindre, fusionner, projeter, en recourant ou non à des patrons, par exemple celui du tableau de bord prospectif ; (4) informer et qualifier (valider la syntaxe et la sémantique) un GÉVA, et augmenter son niveau de maturité (échelle de 0 à 5) ; (5) exporter le résultat obtenu au format XML, de sorte à produire automatiquement un document bureautique (rapport d'évaluation) ou un module d'interface qui peut être couplé avec un progiciel de gestion intégrée.

Pour satisfaire ces besoins, treize μ -outils ont été identifiés (tableau 7), puis ont été architecturés au sein d'une structure décrite à l'aide d'un actigramme SADT. Ce diagramme est un objet intermédiaire de conception, non la conclusion de l'activité de développement logiciel. L'idée n'est pas de figer le logiciel final, mais, conformément à l'hypothèse de créativité procédurale, d'apprécier la variété des graphes possibles de l'activité de référence.

Modèle d'activité	Description dans le cas de MOCÉVA
Objet	Évaluer une performance
Sujets	Acteurs et rôles : demandeur, évaluateurs parties prenantes, chef de projet, destinataires
Communauté	3 modes de collaboration ont été identifiés : un mode collaboratif avec animateur, un mode coordonné supervisé, un mode mixte coordonné avec animateur
Liste de tâches	(1) Définir un évaluant, (2) importer un évaluant, (3) importer un patron, (4) exporter un évaluant, (5) qualifier un évaluant, (6) grouper des évaluants, (7) éditer un graphe d'évaluants, (8) annoter un graphe d'évaluants, (9) partitionner un graphe d'évaluants, (10) analyser la syntaxe d'un graphe d'évaluants, (11) analyser la sémantique d'un graphe d'évaluants, (12) visualiser un graphe d'évaluants, (13) éditer un rapport
Résultat	Un rapport d'évaluation
Règles	Principes déontologiques et professionnels Règles propres au projet (inscrites dans la lettre de mission) Règles algébriques liées aux graphes Règles de rédaction
Outils requis	13 μ -outils identifiés pour assister les tâches de la liste précédente : (1) le <i>Définisseur</i> , (2) l' <i>Importateur</i> , (3) l' <i>Importateur</i> de patrons, (4) l' <i>Exportateur</i> , (5) le <i>Qualificateur</i> , (6) le <i>Groupeur</i> , (7) l' <i>Editeur</i> , (8) l' <i>Annotateur</i> , (9) le <i>Partitionneur</i> , (10) l' <i>Analyseur_Syntaxique</i> , (11) l' <i>Analyseur_Sémantique</i> , (12) le <i>Visualisateur</i> , (13) l' <i>Éditeur_de_Rapport</i>

	Des MOC pour assister la coopération induite par cette activité collective Une plate-forme logicielle pour supporter cet ensemble d'outils (<i>PLACID</i> ou <i>MO-Web</i>)
--	--

Tableau 7. *L'évaluation collaborative décrite selon le modèle d'Engeström (1999)***Conception des μ -outils**

- *Étape de formalisation.* Les tâches évaluatives instrumentables étant identifiées, la conception UML, puis le développement des μ -outils, peuvent commencer. Il s'agit alors de construire : (1) le diagramme de situation de l'activité, qui met en évidence les acteurs, les ressources nécessaires à la réalisation de leur activité collective, et l'environnement d'usage des μ -outils ; (2) le cas d'utilisation des μ -outils associés, déduit de l'actigramme précédent ; (3) le diagramme de classe de chaque μ -outil, de son IHM et des objets évaluatifs traités par lui ; (4) le diagramme de collaboration, qui décrit la communication et l'ordonnement des agents impliqués dans un scénario de référence ; ainsi, la séquence de messages échangés par les agents logiciels qui réalisent le processus type : [Définisseur→Qualifieur→Groupeur]. Pour plus de lisibilité, seuls deux μ -outils (*Éditeur*, *Définisseur*) sont représentés dans le diagramme de classe proposé dans le tableau 8.
- *Étape d'agentification.* La conception des μ -outils étant orientée objet, il s'agit, pour les rendre collaboratifs, de les agentifier et de les intégrer dans *PLACID*. Cette agentification est d'autant plus pertinente que l'activité collaborative est synchrone : chaque agent devant être informé en temps réel de l'état des agents avec lesquels il se coordonne.
- *Étape de maquettage.* Cette troisième étape de conception vise à concrétiser les μ -outils en développant leurs IHM et le bureau de l'activité. Cette étape est le lieu d'un dialogue continu entre les co-réalisateur du logiciel. Pour un évaluateur professionnel non informaticien, elle consiste plus à se prononcer sur la validité des maquettes proposées, qu'à concourir à leurs développements. La conception participative des IHM et du bureau procède en suivant la logique du maquettage rapide, si bien que de nombreuses itérations ont lieu entre l'informaticien et l'évaluateur. Une version stable sert de prototype. En guise d'illustration, une saisie d'écran du bureau de *MOCÉVA* et des μ -outils « Définisseur », « Qualifieur », « Éditeur de *GÉVA* » et « Éditeur de rapport », est proposée en figure 24.
- *Intégration des μ -outils.* Comme tout artefact, l'application *MOCÉVA* n'a pas vocation à rester isolée, mais à interopérer avec un système plus vaste. La plate-forme réactive *PLACID* permet ainsi l'usage collaboratif des μ -outils définis ci-dessus et l'exportation des résultats de l'activité évaluative. Nous avons proposé un processus d'agentification pour l'intégration des μ -outils dans *PLACID* ([Fougères, 2004](#)). L'intégration des μ -outils de *MOCÉVA* y est réalisée en deux phases : la première correspond à l'agentification des 13 μ -outils conçus, la seconde consiste à définir puis inclure un agent <ClientCorba> à *PLACID* qui sera référencé par chaque bureau d'activité d'utilisateurs.

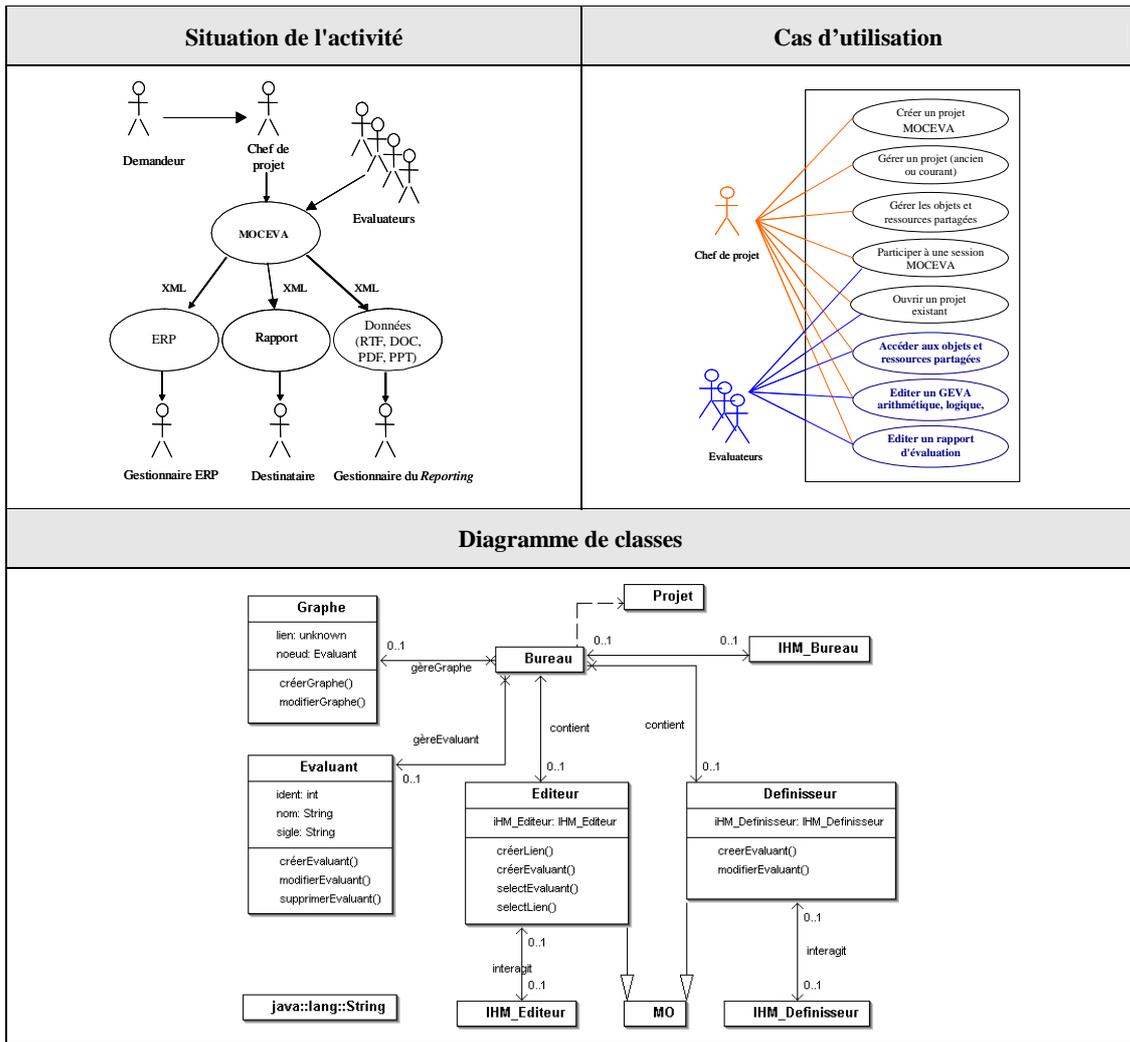


Tableau 8. Diagrammes de conception des μ -outils

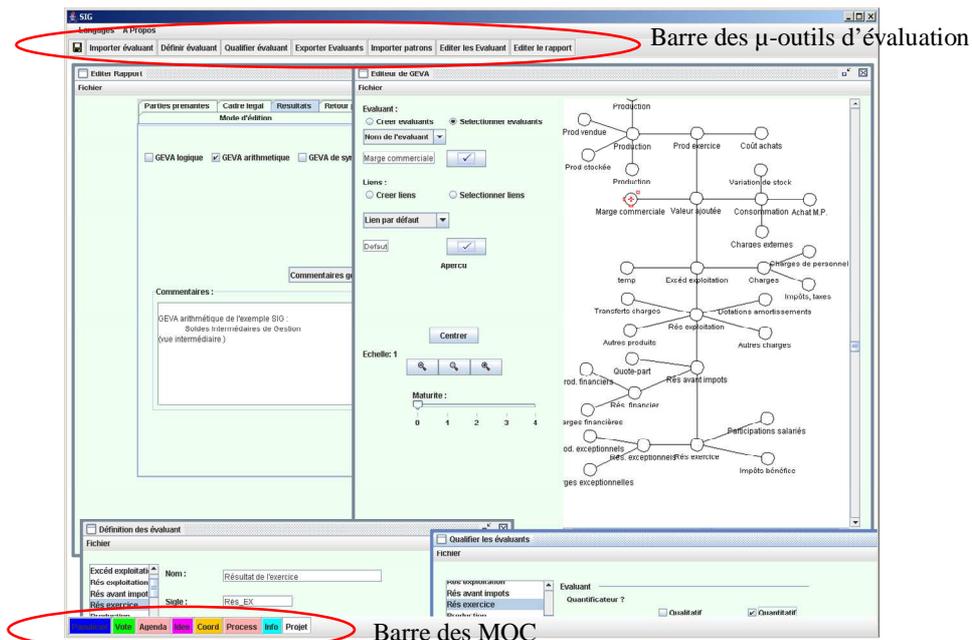


Figure 24. Saisie d'écran du bureau de MOCÉVA

5.4. Conclusion

Nous avons abordé dans cette partie la dimension coopérative de certaines activités et le travail de modélisation qui permet d'identifier les outils logiciels susceptibles d'apporter une assistance pour la réalisation de tâches coopératives. La théorie de l'activité nous a offert ce cadre de modélisation, notamment dans le contexte des EIAH pour la première application. Certaines caractéristiques des EIAH justifient la démarche de développement adoptée (approche praxéo-centrée) : ce sont des systèmes complexes, multi-usages, multi-utilisateurs et parfois coopératifs. L'instrumentation de l'activité de projets d'étudiants en est une illustration : coopération entre les étudiants constituant un groupe de projet, entre les étudiants et l'enseignant tuteur, entre l'équipe enseignante, entre cet ensemble d'acteurs et l'EIAH, entre les acteurs du moment et les futurs (mémorisation d'activité). La gestion et le suivi coopératif des projets ont été modélisés, conçus puis testés avec succès. Le travail suivant porte sur l'aide à l'évaluation des projets, grâce aux traces d'activités mémorisées ([Ospina et Fougères, 2009](#)). La GPE proposée par l'outil *iPédagogique* a été préalablement expérimentée pendant trois ans. Après le plébiscite accordé à cette recherche/action par les différents utilisateurs (étudiants, enseignants, administrateur) des deux prototypes conçus, c'est l'observation de leurs modes d'utilisation qui nous a conduit à y intégrer un système d'assistance. Nous développerons cet aspect dans le chapitre suivant.

Dans le chapitre 2 nous avons présenté le concept de μ -outil logiciel et la plate-forme agent *PLACID* qui leur sert de support. La fonction initiale de cette plate-forme est d'assister la co-conception distribuée et plus généralement, les activités collaboratives. Cette plate-forme présente l'originalité d'intégrer des μ -outils grâce au paradigme agent. Celui-ci concerne aussi bien la modélisation et le développement des différentes couches de *PLACID*, que celles de ses interfaces. Un cas d'école a servi à valider la plate-forme, à savoir celui de l'analyse fonctionnelle collaborative ([Fougères et Micaëlli, 2006](#) ; [Fougères, 2010](#)). A cette occasion nous avons proposé une démarche complète de conception de μ -outils : le processus *ICI* ([Fougères, 2005](#)). Depuis, deux autres chantiers de développement de μ -outils ont été lancés : un premier pour l'aide au déploiement de la méthodologie TRIZ et un second, *MOCÉVA*, pour l'évaluation collaborative des performances en ingénierie des systèmes manufacturiers. Cette seconde application permet à un collectif d'évaluateurs de développer un graphe d'évaluateurs partagé. Comme l'illustre l'exemple simple proposé en fin de chapitre (figure 24), le graphe d'évaluateurs facilite le diagnostic et le pronostic évaluatifs.

La poursuite de ces travaux se répartit sur cinq actions : (1) l'encadrement de la thèse de Jing Peng, portant sur l'amélioration du partage de contexte de travail (*context-aware*) pour faciliter le travail collaboratif de concepteurs ou d'architectes systèmes – les deux principales contributions de ce travail sont : d'une part, la modélisation du contexte à partager réalisée à partir d'une modélisation préalable de l'activité selon la TA, et d'autre part, la proposition d'un calcul dynamique de l'intérêt des informations à partager avant de les distribuer aux acteurs concernés, condition de pertinence du partage de contexte ([Peng et al., 2010a](#)) ; (2) le portage de *MOCEVA* sur la plate-forme *MO-Web* (évolution de *PLACID*, conséquence de l'émergence du Web comme principale technologie pour le CSCW) ([Micaëlli et Fougères, 2007](#)) ; (3) l'amélioration de la méthodologie de conception de μ -outils coopératifs *ICI*, déjà engagée avec le développement d'un μ -outil « 9 écrans » pour la méthode TRIZ ([Chambon et al., 2009](#)) ; (4) la conception et le développement de la plate-forme collaborative *APIC*, pour assister la configuration de produits – la collaboration concernant à la fois, les agents d'*APIC* et les acteurs de la configuration ([Ostrosi et Fougères, 2009](#)) ; et (5) le projet *ACCID*, d'analyse de la conception collaborative, comportant un travail spécifique sur les relations qu'entretiennent les actes de langage et les actes de conception coopérative.

« Les systèmes informatiques tendent à être utilisés plus comme des consultants ou même des collaborateurs, que comme des outils »

Zachary et Robertson (1990).

CHAPITRE 6.

UN SYSTEME DE MEDIATION POUR LES SYSTEMES COOPERATIFS

Le thème central de ce chapitre concerne « la proposition et la conception de système de médiation⁸⁷ pour faciliter la coopération entre utilisateurs de systèmes coopératifs ». De tels systèmes doivent avoir des capacités de coopération et d'interaction avec les utilisateurs, et doivent pouvoir appuyer leur activité d'assistance sur des connaissances « innées » et « acquises ». Les chapitres précédents ont présenté une à une ces caractéristiques systémiques, tout en proposant des solutions. La problématique ouverte dans ce chapitre propose un cadre de convergence à la pluridisciplinarité de nos travaux. Le chapitre est structuré en 5 sections : (1) la première propose une brève présentation de l'assistance aux activités coopératives ; (2) la deuxième section décrit la notion de système de médiation, pour aboutir à la présentation d'un cadre méthodologique pour leur conception ; les deux sections suivantes présentent nos expérimentations, inscrites dans cette problématique : (3) la conception d'un système de médiation pour *iPédagogique*, (4) la conception d'un système de médiation pour un atelier coopératif d'analyse fonctionnelle ; enfin (5) la dernière section propose une synthèse de ces recherches et l'énoncé de quelques perspectives à nos travaux.

6.1. Introduction

Les services proposés par la majorité des outils logiciels sont rudimentaires au regard de leur incroyable possibilité. Ceci est en partie dû aux objectifs de leur conception, essentiellement centrés sur les fonctionnalités de l'outil. Pour améliorer la réponse de l'instrumentation aux besoins des futurs utilisateurs, une première prise de conscience s'est portée sur l'interface homme-machine : une meilleure acceptation de l'outil passe par la qualité de sa présentation ([Brooks, 1988](#)). Celle-ci n'étant pas suffisante pour véritablement faciliter l'usage des systèmes logiciels, il est alors apparu indispensable de doter ces systèmes de capacités d'assistance adaptées aux besoins de l'utilisateur ([Boy, 2003](#)). Cependant, comme l'énonce Boullier ([2006](#)), on ne peut attribuer de confiance à l'assistance « *que dans la mesure où elle est crédible, c'est-à-dire supposée plus compétente que l'utilisateur* ». L'évolution en cours propose de rendre l'utilisateur acteur de la conception de son outil, au travers du concept de conception participative, évoqué au chapitre précédent ([Caelen et al., 2005](#) ; [Nicolle, 2006](#)).

6.1.1. L'assistance dans les activités coopératives médiatisées

Nous abordons ici la problématique de l'assistance à la coopération, en nous appuyant sur les concepts du CSCW énoncés dans le chapitre précédent. Les travaux portant sur cette problématique couvrent des domaines variés. L'un d'entre eux, les EIAH, très prolifique, nous a servi de premier terrain d'expérimentation. L'assistance qui y est proposée comprend : des

⁸⁷ Nous utilisons le terme de « médiation » (et par la suite « médiation pour la coopération ») que nous distinguons de celui de « médiatisation », dénotant une médiation technologique au sens large.

systemes conseillers, le suivi synchrone d'activites d'apprentissage, la delivrance d'informations, l'aide a l'utilisation ([Tricot et al., 2000](#)). Cependant, la terminologie associee a la notion d'aide aux utilisateurs reste assez imprécise. Outre le fait que le terme d'aide se rapporte souvent a l'aide en ligne disponible dans les logiciels (assimilable a un mode d'emploi d'interface ou de fonctions), il amalgame par ailleurs de nombreuses notions, parmi lesquelles :

- l'*assistance* a l'utilisateur qui comporte une prise en charge partielle de la tache ([Desprès, 2001](#)) ; elle est souvent mise en oeuvre par des agents qui effectuent une partie de la tache, guident fortement l'utilisateur, ou se substituent a l'utilisateur ([Boullier, 2006](#)) ;
- le *guidage* qui accompagne l'utilisateur dans la realisation de ses taches ; il lui delivre des informations et le charge de certaines taches routinières, grace a une repartition efficace des roles entre l'homme et la machine ([Boy, 2003](#)) ;
- le *conseil* qui produit bien souvent des informations d'ordre methodologiques ; il est par ailleurs pertinent de differencier les conseils essentiellement lies a la demarche preconisee ou aux produits elabores ([Paquette et Tchounikine, 2002](#)) ;
- l'*explication* qui a pour essence de decrire le fonctionnement ou le resultat d'une action ou d'un raisonnement dans le contexte de l'utilisateur ; l'assistance a l'utilisateur peut aussi se manifester seule sous la forme de conseil ;
- le *rappel* qui donne a un acteur, inscrit dans une activite collective, des informations de type delais, etat de produits, actions a mener, etc., en rapport avec ses responsabilites et le role qu'il joue au sein d'un groupe de travail.

Dans les systemes cooperatifs, la notion de systeme d'aide est souvent un compromis au systeme tout automatise, dont les inconvenients sont bien identifies ([Pavard, 1994](#)) : complexification des prises de decision due a l'accroissement continu de l'information ; accroissement du nombre de taches proposees par le systeme ; risque de perte d'expertise par les utilisateurs ; opacite de la demarche suivie par le systeme et difficulte de reprise-extension du travail. A l'inverse, l'ajout de fonctionnalites d'aide ne doit pas entraîner de surcharge cognitive, et ainsi perturber l'utilisateur plus que l'aider ([Wright et Lickorish, 1994](#)).

Trois types d'assistance sont attendus dans un systeme cooperatif : (1) une aide a l'action (proposer, selectionner, exécuter) ; (2) une aide a la comprehension (informer, expliquer, rechercher) ; et bien sûr (3) une aide a la cooperation (communiquer, partager, coordonner, memoriser, etc., cf. les 5Co). Salembier ([2002](#)) distingue deux options majeures d'assistance pour le CSCW : l'assistance par la *regulation prescriptive*, necessitant la formalisation d'un modele de la cooperation, et l'assistance par la *regulation emergente*, necessitant l'identification des proprietes environnementales et procedurales favorisant l'articulation des activites. Pour Hoc ([2003](#)), l'assistance a des acteurs engages dans une activite cooperative se decline sur 3 niveaux : (1) l'assistance a la cooperation dans l'action (interference locale, identification de buts), (2) l'assistance a la cooperation dans la planification (elaboration et maintien d'un objectif commun), et (3) l'assistance dans la meta-cooperation (elaboration de codes de communication ou de systemes de representation). Nous avons déjà souligne que la mise en place de solutions techniques pour maintenir la conscience de groupe participe aussi a l'assistance aux activites cooperatives ([Dumazeau, 2005](#) ; [Kirsch Pinheiro, 2006](#)). D'autre part, modeliser des connaissances pour construire des assistances logicielles amène a s'interesser au metier de l'utilisateur et aux interactions entre utilisateurs ([Teulier et Girard, 2005](#)).

Bien d'autres domaines du CSCW se sont arrêtes sur la problematique de l'assistance, notamment la conception collaborative et le developpement cooperatif de logiciel a grande echelle ([Boy, 2003](#) ; [Caelen et al., 2005](#)). Pour les activites specifiques de conception de produits, nous avons évoqué au chapitre 5 que Darses ([2005](#)) distinguait deux formes de conception collaborative : (1) la conception distribuee, lorsque les operateurs determinent eux-mêmes la distribution des taches, planifient l'exécution du travail, puis se separent : *synchronisation operatoire* ; (2) et la co-conception, lorsque les partenaires developpent les

solutions conjointement : *synchronisation cognitive*. Dans le cas de la synchronisation cognitive, il devient nécessaire de développer des outils d'assistance : pour la construction du référentiel opératif commun (construction du savoir partagé sur le problème en cours et accès à ce savoir) ; pour l'intégration des points de vue (explicitation des savoirs, annotation, argumentation) ; et pour la prise de décision collective (communication, pondération des contraintes et critères d'évaluation).

Pour mieux appréhender cette problématique nous avons poursuivi notre étude : (1) sur un champ théorique – la modélisation du CSCW, bénéficie amplement de la Théorie de l'Activité, du modèle des 5Co et de la théorie de la coordination ; (2) sur un champ cognitif – la connaissance des utilisateurs⁸⁸ est primordiale pour la pertinence d'un système de médiation ; il nous paraît en effet judicieux de développer un modèle de système de médiation centré sur l'homme, où chaque utilisateur aura une perception différente de l'application, selon son rôle et son activité ([Millot, 2003](#)) ; et (3) sur un champ technique – les techniques développées pour les collecticiels, telles que la médiatisation des communications, le partage des objets, l'organisation et la gestion des contextes, et la conscience de groupe.

6.1.2. Comment faciliter les activités coopératives médiatisées ?

Nous avons postulé qu'à l'utilisation de SC, fortement interactifs et souvent distribués, doit être associé un niveau suffisant d'assistance. L'identification et le déploiement de cette assistance peuvent conduire à la conception d'un système de médiation dans lequel la communication homme-machine joue un rôle majeur. Un tel système sert d'intermédiaire de coopération entre les utilisateurs et le système (et réciproquement), ainsi qu'entre les utilisateurs eux-mêmes. Les processus dynamiques et coopératifs nécessaires à cette interaction doivent alors intégrer une représentation des connaissances du domaine, de l'activité et des comportements de l'utilisateur, et proposer un cadre de communication efficace. Après avoir proposé un premier niveau d'assistance aux utilisateurs de SC, avec notamment la notion de système de multi-assistance ([Ospina et Fougères, 2003](#)), nous avons proposé la définition de systèmes de médiation (acteurs *Médiateurs*) capables de faciliter⁸⁹ la coopération entre ces utilisateurs ([Mille et al., 2006](#)). Pour concevoir ces systèmes, il est nécessaire de modéliser les activités coopératives (cf. le modèle des 5Co décrits en §5.1) et d'identifier les connaissances nécessaires à la réalisation des systèmes coopératifs cibles (définition des tâches, modèle d'activité, mémoire d'activité) ([Ospina et al., 2005](#) ; [Ospina et Fougères, 2009](#)).

Le rôle d'un système de médiation consiste à délivrer une réponse précise à chaque cas d'utilisation d'un système coopératif et à chaque acteur d'une action collective. Un référentiel sur les niveaux contextuels du système coopératif devient indispensable (figure 25). Celui-ci, prolongeant les propositions de Delotte et David ([2004](#)), établit un point de vue anthropocentré, pour les couches supérieures et un point de vue technocentré pour les couches inférieures. Notre travail porte sur la partie médiane, le domaine fonctionnel du système de médiation. La médiation est proposée sous le contrôle naturel des acteurs. En cela, il s'agit d'une assistance et non d'une automation qui conduit souvent à un ensemble d'insatisfactions de la part des utilisateurs : perte d'expertise, contentement pour des solutions non optimales, confiance inconsidérée, perte d'adaptabilité ([Hoc, 2003](#)).

⁸⁸ Dans le but d'illustrer la symbiose entre l'intelligence artificielle et les sciences cognitives, Jacques Pitrat (1992) proposait déjà de « modéliser l'homme pour mieux l'aider ».

⁸⁹ Nous préférons l'usage du verbe « faciliter » plutôt que celui d' « assister ». En effet, la combinatoire des situations imprévisibles dans l'activité rend la perspective d'aide prédictible très difficile ; alors que la facilitation est moins exigeante en terme de modélisation, puisqu'elle suppose « une boucle d'inter-action avec l'utilisateur seul juge de l'effet de facilitation pour lui » ([Mille et al., 2006](#)).

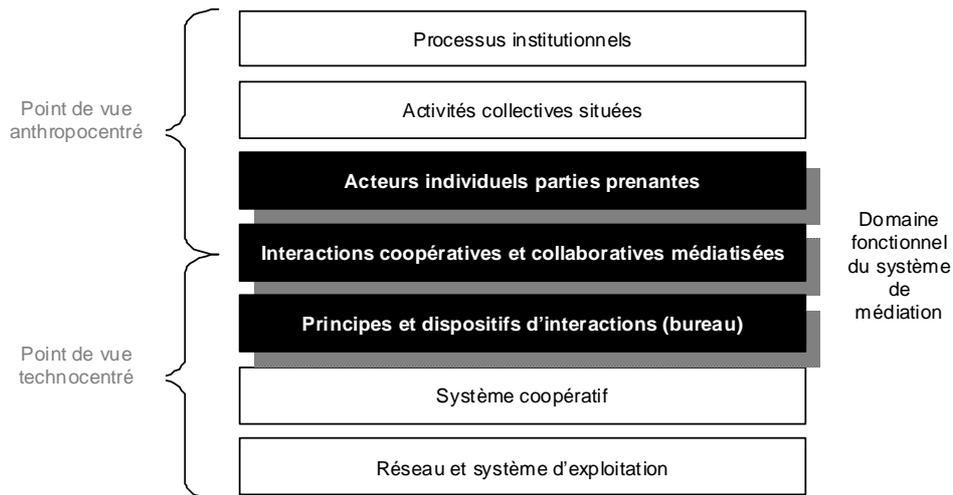


Figure 25. Contexte d'un système coopératif (Micaëlli et Fougères, 2007)

Pour la démarche de conception de systèmes de médiation, sujet de thèse de Victoria Ospina (Ospina, 2007), nous avons énoncé quatre propositions :

- *P1 : l'intégration d'un Médiateur artificiel.* Une fois posée la nécessité d'une médiation pour les groupes d'acteurs travaillant avec un système coopératif, il nous apparaît utile d'intégrer un acteur Médiateur artificiel au groupe ; celui-ci a pour rôle de faciliter la coopération entre les acteurs lorsque ceux-ci sont distants.
- *P2 : l'autonomie du Médiateur.* Le système de médiation doit être indépendant de la partie applicative de l'outil et de son interface. Cette proposition, principalement méthodologique, apporte des qualités de modularité, de réutilisabilité et d'intégrabilité au système.
- *P3 : l'agentification du Médiateur.* Le système de médiation, interactif et coopératif de nature, se conçoit de façon adéquate, sous la forme d'un système à base d'agents. Cette solution est rendue opérationnelle par le développement d'un système autonome, composé d'agents affectés à des tâches spécifiques de collecte d'informations sur l'activité coopérative, de communication et d'aide aux utilisateurs.
- *P4 : la conception du Médiateur à base de scénarii typiques.* Les situations de coopération étant très variées, il est utile de considérer un ensemble extensible de scénarii typiques pour concevoir un système de médiation (approche *scenario-based*) (Carroll, 2000).

Nous avons identifié trois scénarii de référence dans les expériences de co-conception réalisées par notre équipe de recherche (Movahedkhah, 2006 ; Horrigue et al., 2006). Ces scénarii traduisent des situations de conception comportant une demande explicite d'un acteur à ses partenaires, une proposition ou une réaction à la situation de conception. Lors de nos expérimentations, l'observation d'un quatrième scénario a permis de tester la co-évolution de la conception du Médiateur et des usages du système coopératif cible.

A ces propositions nous ajoutons une hypothèse forte de coopération (*H1*) : *l'engagement et la volonté de coopération des acteurs*. Il s'agit d'une hypothèse de travail ; nous nous gardons bien d'affirmer qu'elle constitue une caractéristique des situations de coopération humaine. Elle reflète l'état d'esprit des acteurs observés. La théorie des transactions intellectuelles⁹⁰, considère d'ailleurs cette hypothèse comme fondamentale, puisqu'elle s'inscrit « dans un paradigme de rupture au sein duquel on considère que dans de nombreux contextes d'action collective il est possible de fonctionner sous un régime de confiance, d'autonomie des acteurs

⁹⁰ La théorie des transactions intellectuelles fournit un cadre de description des activités intellectuelles collectives dans les organisations modernes. Une transaction intellectuelle est un échange de connaissances (transaction épistémique) et/ou une prise réciproque d'engagements (transaction relationnelle) entre individus (Zacklad, 2000).

et d'abondance de l'information plutôt que sous le postulat de l'opportunisme des acteurs, du conflit d'intérêt et de la rareté de l'information » ([Zacklad, 2000](#)).

Nos expérimentations de conception de systèmes de médiation se sont déroulées en deux phases aux objectifs bien spécifiques : (1) la modélisation des connaissances nécessaires pour que le *Médiateur* puisse jouer son rôle auprès des acteurs coopérants ; (2) la modélisation des activités et situations coopératives, indispensable à la pertinence des interventions du *Médiateur*. Deux systèmes cibles, déjà présentés dans ce mémoire (cf. §3.3 et §4.3) et aux caractéristiques distinctes, ont été choisis pour ces expérimentations :

- *IPédagogique* qui s'appuie sur la coopération entre étudiants et enseignants pour assurer la gestion, le suivi et l'évaluation de projets. Les connaissances sur la gestion de projets étaient déjà formalisées (cf. chapitre 3) et l'environnement pédagogique était propice pour expérimenter une médiation. Nous avons alors lancé le premier cadre de conception et d'évaluation du concept de système de médiation ([Ospina et Fougères, 2007](#)). Nous avons montré, par ailleurs, la pertinence de passer d'un système de multi-assistance ([Ospina et Fougères, 2003](#)) à un système de médiation ([Ospina et al., 2005](#)).
- L'atelier *MO-AFT* a permis de valider la pertinence des interventions du *Médiateur* lors de séquences de co-production. Les caractéristiques majeures de cette activité créative sont la pluridisciplinarité des phases de conception et la participation libre, voire opportuniste, des acteurs. Les pratiques collectives instrumentées dans *MO-AFT* sont principalement : de multiples actions de communication, l'allocation des tâches, la synchronisation des actions, la gestion des conflits. En nous focalisant ici sur la coopération et les interactions entre les acteurs, nous disposons d'un environnement intéressant pour valider la médiation dans un cadre de coopération plus ouvert ([Ospina et Fougères, 2009](#)). A la différence de la gestion de projets dans *iPédagogique*, l'activité y est très peu prescriptive.

Enfin, dans le cadre d'une coopération distante instrumentée, bien distincte de la situation de face à face, faciliter l'activité coopérative d'un groupe de travail c'est notamment améliorer pour chaque participant la conscience de groupe (*awareness*), c'est à dire la connaissance et la compréhension de l'activité des autres participants. On comprend ainsi la transmission des signaux/messages émis par un participant, la réception de ces signaux par les destinataires et le feedback⁹¹ pour l'émetteur. Gutwin et Greenberg ([1999](#)) divisent en cinq catégories les informations générées par un collectif en répondant aux cinq questions : Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? C'est dans ce sens que nous avons proposé le sujet de thèse de Jing Peng sur l'amélioration du partage de contexte collaboratif ; cette amélioration est validée par le calcul de la pertinence des informations de partage ([Dessalles, 2005](#) ; [Peng et al., 2010b](#)).

6.2. Le concept de système de médiation

6.2.1. Présentation du concept

Le processus de médiation établit un lien entre des acteurs qui doivent agir ensemble pour atteindre un consensus sur une tâche commune. Ce processus est réalisé par le système médiateur et comprend des tâches telles que : assurer une meilleure communication et compréhension entre une application et ses utilisateurs ; aider les utilisateurs à optimiser leur façon de travailler avec une application, partagée ou non ; aider à découvrir les options disponibles dans une application, qui pourraient faciliter la réalisation d'une tâche quelconque.

L'objectif d'un système de médiation est donc d'apporter une aide aux groupes d'utilisateurs dans la résolution de leurs problèmes, en prenant en charge certaines fonctionnalités de l'application. La signification du terme de médiation correspond à la notion d'« intermédiaire de

⁹¹ Dans les systèmes adaptatifs, la notion de feedback révèle comment un système se comporte en se référant à ses buts et s'adapte aux changements de son environnement.

coopération » entre au moins deux acteurs (ici, utilisateur(s) et système). La médiation est un processus flexible qui s'applique à toutes sortes de situations coopératives ([Giraldo et Reynaud, 2002](#)). Dans l'absolu, un utilisateur disposant d'un système de médiation peut se dispenser d'appréhender la complexité d'un système ou d'une application. Les systèmes de médiation étant des systèmes autonomes, servant d'interface entre l'homme et une application pour enrichir leur relation, nous les avons décomposés en trois sous-systèmes : un système d'assistance (ou de multi-assistance), une IHM et une BC ([Ospina et al., 2005](#)).

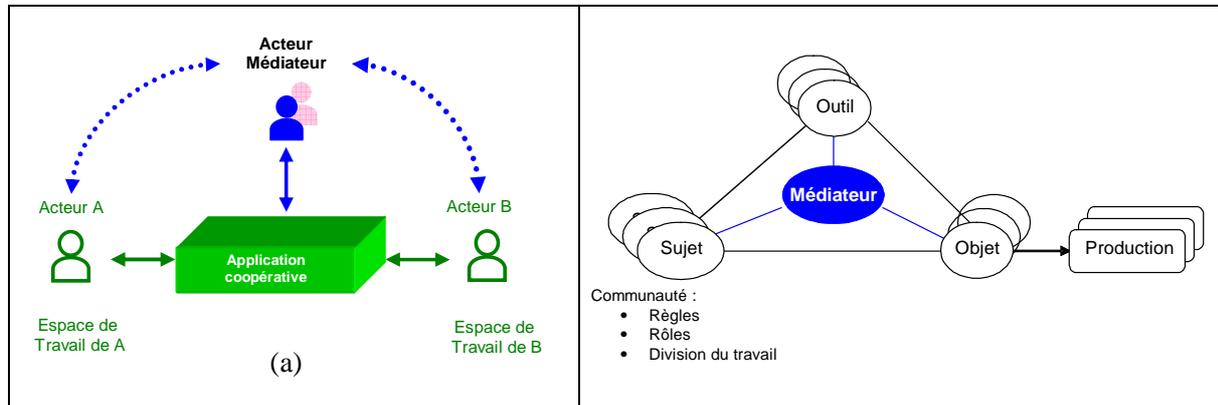


Figure 26. Concept de Médiateur : a) son abstraction, et b) sa situation dans l'activité

La coopération fait référence à une activité intentionnelle ; on ne peut donc envisager de coopération homme/système que si ce dernier peut être qualifié d'intelligent. Le système de médiation est donc un SBC. De plus, compte tenu de ses objectifs, le système de médiation est un véritable acteur de la coopération ; nous le nommons *Médiateur* (figure 27.a). La coopération peut alors regrouper un collectif d'acteurs humains (systèmes naturels) et un acteur *Médiateur* (système artificiel). La conception de cet acteur peut s'inspirer du modèle computo-symbolique⁹² proposé par Simon et Newell ([Simon, 1969](#) ; [Newell et Simon, 1972](#)) : un système de traitement de symboles comprenant des fonctions d'entrées et de sorties, une mémoire à long terme et un processeur composé lui-même d'un moteur d'inférence et d'une mémoire de travail (ou mémoire à court terme). L'état de l'art réalisé par Fan et Yen ([2004](#)) sur cette problématique (équipes composées d'agents humains et numériques) est éloquent.

Le concept de médiation est décrit par des psychologues tels que Vygotski, Piaget ou Brunner. Pour Vygotski ([1978](#)), le langage est avant tout un outil de médiation, au travers de ses dimensions sociales et psycholinguistiques. Peraya et Meunier ([1999](#)) proposent une typologie de la médiation en trois classes : (1) la médiation technologique qui englobe tout outil cognitif pouvant contribuer aux activités de l'Homme ; (2) la médiation sensori-motrice qui s'attarde sur les médiateurs moteurs tels que souris ou clavier ; et (3) la médiation sociale (ou relationnelle), destinée à l'activité cognitive qui mêle activité intra-individuelle et intériorisation des relations inter-individuelles ; nos relations sociales provoquent une activité réflexive individuelle.

Dans la littérature le concept de « médiateur » comprend de multiples acceptions :

- Pour Wiederhold ([1992](#)) un médiateur permet à une application d'extraire des données à partir des sources de données. Prolongeant cette idée, Bonnet ([1999](#)) considère le médiateur comme un ensemble de systèmes permettant l'accès à des sources de données hétérogènes et réparties.

⁹² L'homme et l'ordinateur sont tous les deux des systèmes de traitement de symboles ; leurs processus peuvent donc s'éclairer mutuellement. En énonçant l'isomorphisme « homme-ordinateur » au niveau symbolique, Simon propose que l'ordinateur, en tant que manipulateur de symboles, serve à simuler l'esprit humain. Fodor (1983) ajoute que l'exécution des fonctions cognitives repose sur un certain nombre d'opérations symboliques, dont certaines peuvent être formalisées à l'aide d'un calcul adapté.

- Ramadour et al. (1999) conçoivent le médiateur comme un assistant électronique : un système informatique qui aide des utilisateurs à réaliser une tâche commune, fournit une interface pour un environnement partagé, et propose une architecture adaptative et des fonctions de capitalisation des expériences vécues. Il doit être spécialement adapté aux processus coopératifs innovants (absence d'*a priori* dans une situation nouvelle).
- Autre perception de la médiation, l'aide spécifique à l'utilisateur, assurée par un agent personnel (l'« interface intelligente »). Il s'agit alors de concevoir des assistants utilisateurs ou collaborateurs ([Grislin-Le Strugeon et al., 2001](#) ; [Klusck, 2001](#) ; [Rich et al., 2001](#) ; [Barthès et Ramos, 2002](#) ; [Enembrek et Barthès, 2004](#) ; [Chen et Barthès, 2007](#) ; [Shakshuki et al. 2008](#)). C'est le cas, par exemple, dans ([Charton et al., 2003](#)), où les auteurs introduisent un agent médiateur dans l'interaction entre un utilisateur et un service de recherche d'informations. Le rôle du médiateur est de formaliser la requête d'un utilisateur selon son profil et l'environnement.
- Bien d'autres types de médiateurs ont été proposés. Ainsi, pour Adla (2007) le médiateur est avant tout un facilitateur de prise de décision collective. Quant à l'agent médiateur de BAGHERA ([Pesty et al., 2001](#)), il assure, dans un contexte pédagogique, la traduction d'une réponse d'un élève en une représentation compréhensible par un outil d'analyse.

Pour une médiation active dans l'utilisation de systèmes coopératifs, le *Médiateur* doit repérer les besoins des utilisateurs engagés dans les tâches coopératives, puis intervenir pour faciliter la réalisation de ces tâches en proposant une assistance répartie sur les fonctions suivantes : communication, awareness (ou vision des autres), coordination, mémorisation (co-mémorisation, mémoire de projet), processus automatiques et partage de connaissances.

- *La médiation pour la communication.* Ce thème est prolifique ([Leray et Sansonnet, 2007](#)) : Dumazeau (2005) étudie les communications synchrones médiatisées en situation de travail, pour élaborer un modèle de conception de média de communication ; Pétard (2001) propose de développer un système de médiation pour les communications et la gestion de mémoires d'entreprises, fondé sur une architecture multi-agents et s'appuyant sur le postulat qu'une définition formelle a priori du sens est impossible – celui ci « émerge » de l'interaction, dans une dynamique de "co-production" d'une réalité partageable entre les acteurs ; Vivacqua et al. (2005) s'intéressent à l'assistance au niveau des conditions d'initiation et d'établissement de la communication ; l'environnement d'apprentissage *AulaNet* ([Lucena, 2006](#)), exemple d'assistance à la communication, comprend un médiateur de forum de discussion, chargé notamment de suivre les différentes communications et de faciliter, ou inciter, la participation de chaque apprenant.
- *La médiation pour la coordination.* Les nombreuses études portant sur le travail collaboratif s'accordent toutes sur l'importance de partager un même contexte pour se coordonner efficacement ([Ellis et al., 1991](#)). Parmi les propositions d'assistance, les GSS⁹³ constituent un exemple emblématique ([Nunamaker, 1997](#)). La coordination du travail avec un GSS est assurée par un jeu de techniques (fonctions ou logiciels) conçues pour concentrer et améliorer la communication, les discussions et la prise de décisions du groupe qui l'utilise. Ainsi, les GSS jouent un rôle de facilitateur des tâches quotidiennes du groupe.
- *La médiation pour la mémorisation.* Il existe de nombreux outils de mémorisation de projets ou d'activités, tel *DuoCom* ([Vales, 2002](#)). Vales considère la mémorisation comme une tâche à moyenne charge cognitive qui doit être assistée. Evidemment reste à déterminer ce que l'on mémorise. Les travaux portant sur la mémoire de projet ([Karsenty, 2001](#) ; [Matta, 2004](#)) permettent de clarifier le problème. Ils constituent aussi une bonne source d'inspiration pour assister la co-mémorisation dans les activités collectives.

⁹³ *Group Support System.*

- *La médiation pour le partage des connaissances.* Le partage des connaissances est primordial pour un Médiateur ; le collectif doit pouvoir être assisté pour partager les connaissances et les ressources de contexte. Salembier ([2002](#)) met en évidence le rôle d'assistant que peuvent jouer des agents coopérants dans le partage d'informations contextuellement pertinentes et dans la co-construction de connaissances nouvelles.
- *La médiation pour l'awareness.* De nombreux travaux soulignent l'intérêt porté à la notion d'awareness ([Bouthier, 2004](#) ; [Kirsch Pinheiro, 2006](#)). Pour faciliter le partage d'information contextuelle et l'ajustement des activités coopératives, Salembier ([2002](#)) propose un cadre méthodologique d'analyse et de modélisation du contexte partagé, composé de trois phases : (1) un recueil de données (observation de la coopération), (2) une analyse et une modélisation de ces données, et (3) une simulation pour évaluer les conséquences des modifications apportées par les dispositifs mis en place sur le contexte partagé.

Il existe bien entendu d'autres formes d'assistances : l'augmentation de l'accessibilité à l'information pertinente, la réalisation de prétraitements sur des données brutes, la proposition de plusieurs systèmes de représentation, la co-construction d'une connaissance partagée ([Grosjean, 2005](#)), l'augmentation des capacités de prédiction sur l'évolution de processus et la prise en charge d'une partie des tâches effectuées par l'acteur.

Pour permettre d'établir plus facilement une liaison efficace entre l'utilisateur et l'application, un système médiateur doit être capable de reconnaître les opérateurs qui l'utilisent ainsi que les tâches qu'ils effectuent. La connaissance des utilisateurs, ainsi que leur différenciation, sont primordiales pour bien définir un système de médiation. Il est alors judicieux de développer un modèle de système de médiation centré sur l'homme – chaque utilisateur a une perception différente de l'application, selon son rôle et son activité ([Millot, 2003](#)). Un modèle orienté sur le contexte d'utilisation est lui aussi indispensable, dans le cas où l'utilisateur ne maîtriserait pas toutes les fonctions et possibilités de l'application. Un tel modèle permet d'envisager l'ensemble des solutions alternatives pour la réalisation d'une tâche quelconque.

6.2.2. Proposition d'un système de médiation pour faciliter la coopération

Pour faciliter l'utilisation des applications coopératives et des collecticiels, nous avons proposé de les interfacier à un système de médiation. Ce système prend en charge les relations entre utilisateurs appartenant à un groupe de travail et les relations entre les utilisateurs et l'application elle-même. Il facilite la coopération cognitive et participe au processus de création de connaissances collectives.

6.2.2.1. Les systèmes de coopération cibles

Appréhender la conceptualisation d'un système de médiation, oblige le concepteur à bien le distinguer du système coopératif cible. Les systèmes coopératifs que nous avons considérés sont destinés à l'enseignement ou à la conception collaborative de produits. Dans de tels systèmes, les pratiques collectives sont principalement : l'allocation des tâches selon les compétences des acteurs, la synchronisation des actions et la synchronisation cognitive pour partager les connaissances, la gestion des conflits, et de multiples actions de communication ([Darses, 2005](#)). Le système coopératif doit donc offrir des fonctionnalités propres au déroulement de l'activité collective et permettre aux partenaires de la conception de coopérer pour : identifier et distribuer les buts et sous-but, partager les définitions, répartir les tâches à réaliser, suivre l'évolution de l'activité, évaluer les résultats de la conception collective. La conception des applications coopératives elles-mêmes n'est pas l'objet de ce chapitre, cependant, pour une meilleure distinction des éléments constitutifs de l'application cible et de son système de médiation, nous avons fait l'hypothèse qu'elle adopte le modèle de Malone et Crowston (1994). Ce dernier définit un système coopératif en fonction de trois types de tâches coopératives : le partage de ressource, l'ajustement et le contrôle de flux des tâches.

La conception des collecticiels repose sur la mise en œuvre de services logiciels adaptés aux besoins de la collaboration. Le modèle des 5Co décrit ces services. La séparation entre ces

cinq facettes du modèle est bien entendu artificielle, mais nous conserverons néanmoins ces facettes comme références à la conception participative, puisqu'elles sont implicitement invoquées par la majorité des concepteurs de systèmes coopératifs.

Quant à l'assistance à la coopération, elle dépend du cadre conceptuel de cette dernière. Tout comme Salembier (2002), nous distinguons deux types d'assistance : l'assistance par la régulation prescriptive et l'assistance par la régulation émergente. Le concept de système de médiation permet de couvrir ces deux types d'assistance, cependant, nous avons commencé par nous focaliser sur la première ; la régulation émergente fait l'objet des expérimentations actuelles sur l'amélioration du partage de contexte dans le cadre de la thèse de Jing Peng.

6.2.2.2. Définition du système de médiation

Un système de médiation est un intermédiaire de coopération entre les utilisateurs et le système, et réciproquement. Les processus dynamiques, coopératifs et autonomes nécessaires à cette interaction doivent donc intégrer une représentation des connaissances et des comportements de l'utilisateur et posséder de réelle capacité à communiquer.

Les bénéfices attendus de l'intégration d'un système de médiation dans un système coopératif sont les suivants : proposer aux utilisateurs un espace d'activité privé et un espace public pour partager les informations ; laisser l'opportunité aux utilisateurs de travailler individuellement ou de façon coopérative ; faciliter l'identification, l'assistance et le suivi des tâches coopératives. Par accomplir ces tâches le *Médiateur* a besoin d'observer puis interpréter les interactions entre les acteurs et le système coopératif. Pour répondre à ces objectifs, notamment sur les caractéristiques implicites de coopération et d'assistance à l'utilisateur, nous avons proposé que la conception et le développement de l'acteur *Médiateur* soient orientés agents (proposition P3, p.90). Bien évidemment, de l'identification et de la distribution des agents, dépendra l'efficacité de l'interaction entre les acteurs (humains et/ou artificiels). La figure 27.b présente le diagramme d'activité de principe du *Médiateur* (Ospina et al., 2005). Celui-ci respecte le schéma de l'acteur cognitif présenté dans la figure 12 du chapitre 4.

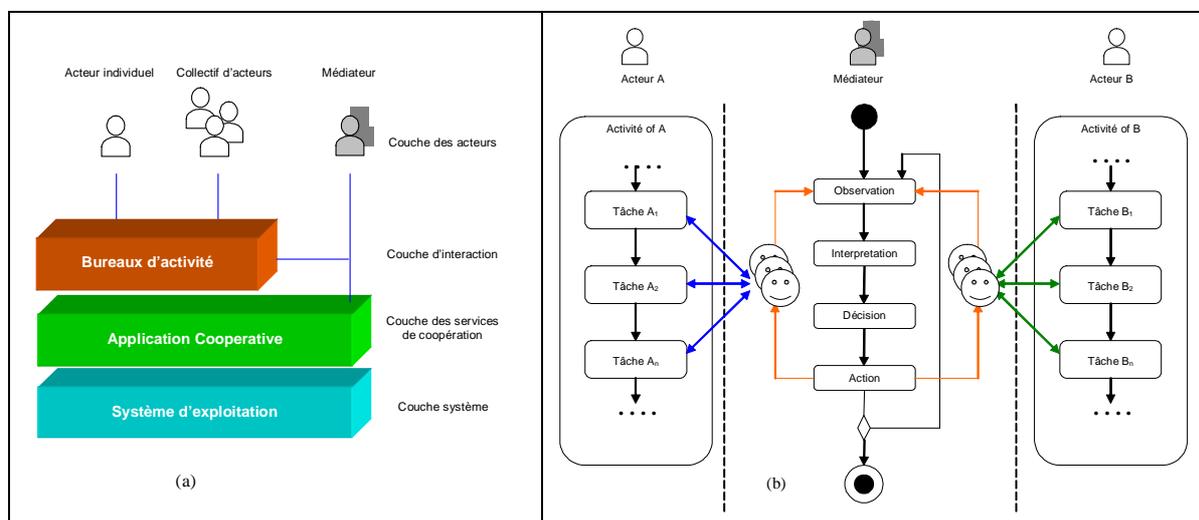


Figure 27. a) Le Médiateur intégré dans une application coopérative ; b) son schéma d'activité

Le *Médiateur* est intégré dans un groupe de travail composé d'acteurs humains, ce qui signifie qu'il est en mesure d'interagir et de coopérer avec eux. Pour cela il doit accomplir les tâches cognitives d'observation, d'interprétation, de décision et d'action. Bien entendu la portée de ces tâches est plus limitée que celle d'un acteur naturel ; elles lui permettent cependant de communiquer des informations coopératives pertinentes aux différents membres du groupe. L'observation des actes de coopération réalisés par des acteurs travaillant dans des espaces coopératifs proxémiques (Movahedkhah, 2006 ; Fougères et al., 2006), puis distants, nous a permis d'identifier un premier niveau d'interactions nécessaires à la pertinence d'une médiation

dans un espace coopératif distant, et correspondant aux fonctions des 5Co. Pour spécifier le cadre interactionnel entre les agents du *Médiateur* nous avons défini un langage dont les principaux éléments ont déjà été présentés dans le tableau 4 (§4.3.2). La coopération entre le *Médiateur* et les autres membres du groupe d'acteurs peut paraître problématique. Nous faisons de nouveau une hypothèse forte de coopération (Grice, 1975). Les maximes de Grice, bien qu'initialement énoncées comme principe de coopération linguistique, sont fréquemment invoquées dans des cadres plus généraux d'interactions : (a) toutes les communications établies lors d'activités coopératives doivent suivre les prémisses de quantité, de clarté et de véricité, pour garantir une collaboration effective ; et (b) le système de médiation doit fournir à l'utilisateur la quantité d'information strictement requise ; il doit communiquer des messages ou connaissances vrais, clairs et non ambigus. Ainsi un contexte coopératif spécifique est établi selon un contrat social, qui s'apparente aux maximes de Grice. La figure suivante schématise les trois niveaux de la TA (Leontiev, 1978) appliqués à l'activité du système de médiation.

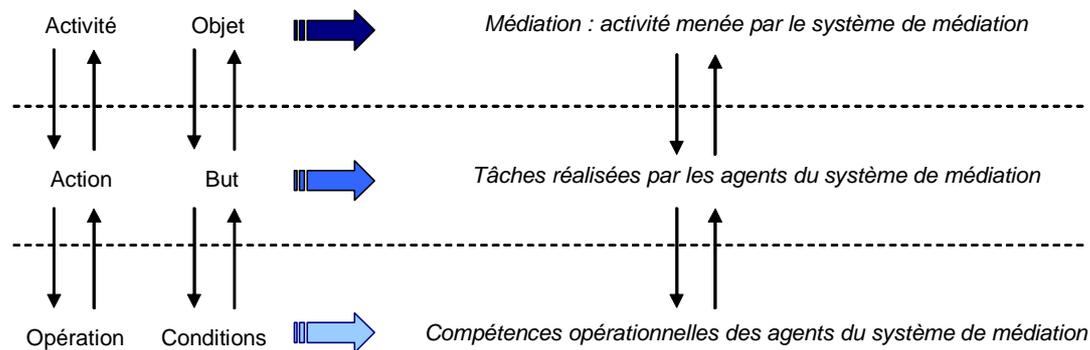


Figure 28. Structuration hiérarchique des activités du système de Médiation

6.2.2.3. Modèle à base d'agents du Médiateur

Le paradigme agent est bien adapté au travail collectif (cf. Chapitre 5) ; chaque agent possède une connaissance parcellaire et tous coopèrent pour un objectif global. La modélisation des agents consiste à définir leur architecture, les connaissances adaptées à leurs activités, leurs modes de communication et d'interactions, et leur organisation. Une façon simple de s'assurer un comportement cohérent du groupe d'agents consiste à spécifier un agent centralisateur, qui détient des informations de haut niveau sur ces agents. Ainsi, l'agent centralisateur pourra créer des plans d'action et allouer les tâches aux divers agents du groupe – nous l'appellerons agent de contrôle. Il existe bien d'autres structures organisationnelles (Drogoul et Collinot, 1997), couvrant le spectre de la subordination à l'auto-organisation ; cette dernière restreignant moins le caractère autonome des agents. Ce choix de structure organisationnelle hiérarchique statique correspond uniquement à notre souci de faciliter les premières expérimentations de la méthodologie de conception du *Médiateur*.

Description des agents. Dans le chapitre 4, nous avons indiqué que la définition retenue pour que les agents aient des comportements adaptés aux tâches qu'ils réalisent, suit le modèle à 3 niveaux de l'opérateur de Rasmussen (1983). L'acteur *Médiateur* a un comportement de quatrième niveau (figure 12) ; grâce à ses agents, il observe, interprète, décide, puis agit et mémorise. Dans le cas des agents du *Médiateur*, le deuxième niveau est efficient (figure 13.b). Chaque agent joue un rôle prédéfini, fonction de ses compétences (figure 29). La coordination centralisée des agents est assurée par un agent de contrôle. Les règles de décision de chaque agent sont regroupées dans une table individuelle, contenant des triplets ECA^{94} . Pour échanger des informations, se demander des services ou dialoguer, les agents du *Médiateur* communiquent selon le cadre interactionnel défini au chapitre 4 (cf. § 4.1.3.3).

⁹⁴ Règles du type « on Événement if Condition then Action » (Paton, 1999)

Les agents du Médiateur. Après avoir identifié l'ensemble des interactions potentielles entre les acteurs humains et le *Médiateur*, nous pouvons concevoir les agents spécialisés qui permettront au *Médiateur* d'assurer son rôle de médiation (cf. les 5Co). Chaque tâche du *Médiateur*, ou mise en œuvre d'une compétence, est réalisée par un agent spécifique : le système coopératif interagit avec le système de médiation au travers d'agents <Observateur>; l'agent <Contrôle> supervise tout le système d'agents, il interprète et s'appuie sur les agents <Connaissances> (par conséquent sur la BC), <Co-mémorisation>, <Suivi_Activité> et <Coordination>, pour prendre des décisions et agir ; les acteurs humains et le *Médiateur* communiquent grâce à l'agent <Communication>. Les compétences de ces agents sont répertoriées dans le tableau suivant (tableau 12).

Agents	Rôles
<Contrôle>	Contrôler l'assistance aux utilisateurs
<Communication>	Communiquer avec les acteurs
<Connaissance>	Gérer la base de connaissances
<Suivi>	Gérer le suivi et l'organisation de l'activité coopérative
<Coordination>	Assister la coordination des acteurs
<Mémorisation>	Gérer la mémoire d'activité
<Observation>	Obtenir des informations sur les opérations coopératives

Tableau 9. Les compétences des agents du Médiateur

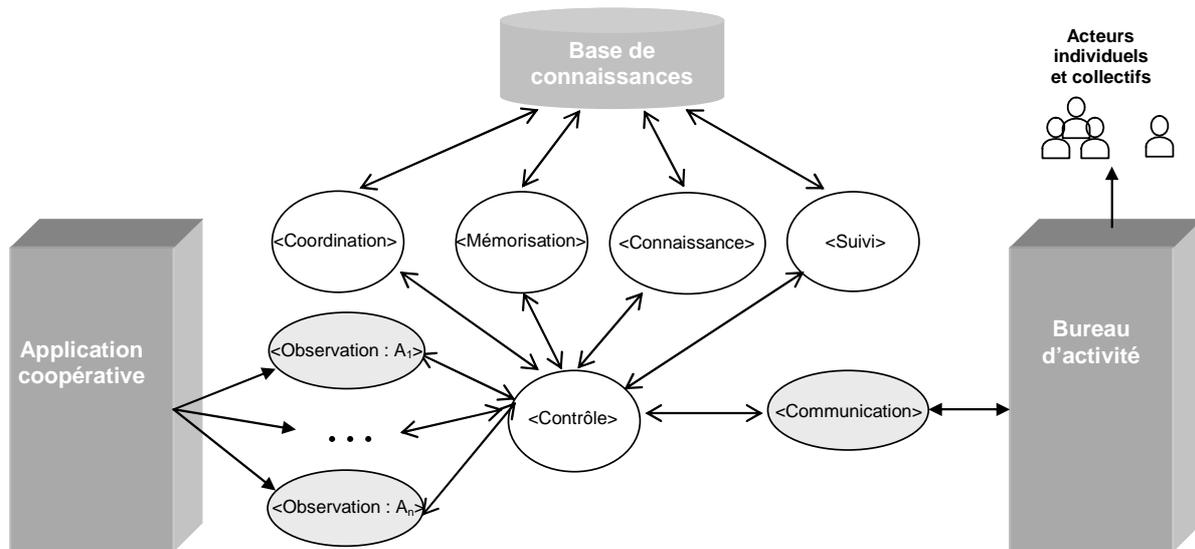


Figure 29. L'architecture à base d'agents de l'acteur Médiateur

La projection des compétences des agents dans le schéma d'activité du *Médiateur*, permet de définir que : la tâche « observer » sera réalisée par des agents <Observateur> spécialisés dans l'acquisition d'informations de coopération médiatisées par le système coopératif ; les tâches « interpréter » et « décider » seront réalisées par les agents <Connaissance> et <Contrôle> ; le suivi de l'activité coopérative sera réalisé par l'agent <Suivi> ; la mémorisation par l'agent <Mémorisation> ; et la tâche « agir », relative, par essence, à la communication d'informations pertinentes pour la coopération (communication pour agir), sera réalisée par l'agent <Communication>. La coordination est centralisée au niveau de l'agent <Contrôle>. La figure 29 présente l'architecture agent du *Médiateur*. Le système coopératif y est divisé artificiellement en deux parties pour faciliter la compréhension du schéma. Les agents <Observateur> sont

spécialisés par modes de coopération, alors que l'agent <Communication> est unique (*ie*, réalisation de tâches de mêmes natures).

6.2.2.4. Un cadre méthodologique pour la conception de systèmes de médiation

Un système de médiation étant un SBC, nous avons adopté une démarche d'ingénierie des connaissances. Ainsi, Victoria Ospina ([2007](#)) a proposé dans sa thèse les éléments d'une méthodologie de conception de systèmes de médiation, comportant trois phases principales :

- 1) La *faisabilité*, composée de trois tâches : (1) l'identification et la description du domaine, des acteurs et des activités, réalisée à l'aide des modèles d'organisation, d'acteur et de tâche de *CommonKADS* ; (2) l'évaluation du degré de coopération dans l'activité ; (3) la décision d'instrumenter, ou non, une assistance de type médiation pour cette activité.
- 2) La *spécification*, définissant : (1) le modèle d'activité réalisé en utilisant le modèle d'Engeström (1999) ; (2) le modèle de l'acteur *Médiateur* (architecture agent et interactions modélisées avec des diagrammes de séquence d'UML) ; (3) l'identification des compétences du *Médiateur*, nécessaires pour assister les tâches collectives identifiées.
- 3) La *conception*, comprenant : (1) la conception des agents du *Médiateur* (diagrammes de classe/activité UML) ; (2) l'élaboration de scénarios d'interaction et de collaboration entre ces agents (diagrammes de séquence/collaboration UML) ; et (3) la conception de la BC.

Il est souhaitable que la conception du système de médiation soit réalisée en même temps que celle du système de coopération cible. Cette conception concourante, dans une démarche de conception ascendante, favorise la prise en compte des caractéristiques et des attentes des futurs utilisateurs dès les premières phases de développement des deux systèmes.

6.3. Application : conception d'un *Médiateur* pour *iPédagogique*

Cette section présente, sous un angle méthodologique, la conception d'un *Médiateur* pour le suivi et la gestion de projets d'étudiants, dans l'environnement d'apprentissage coopératif *iPédagogique* (*cf.* §3.3). Un prototype a été testé dans le cadre d'unités de valeur techniques et scientifiques. Le retour d'expérience a montré que les étudiants ont utilisé l'assistance mise à leur disposition et en ont manifesté un réel intérêt. L'analyse de celui-ci est à la base de la définition de l'outil actuel ([Ospina et al., 2005](#) ; [Fougères et al., 2007](#)).

6.3.1. Présentation

La volonté de simplifier l'utilisation de certains systèmes d'information coopératifs, tels que les EIAH, a permis de réaliser des prototypes de systèmes d'aide comportant une représentation des connaissances et déployant des capacités d'intervention, de dialogue et d'explication ([Dewhurst et al., 2000](#)). Le lecteur intéressé par la description d'EIAH récents, proposant des niveaux d'assistance, pourra se référer aux plates-formes agents *BAGHERA* ([Pesty et al., 2001](#)), *SIGFAD* ([Mbala et al., 2003](#)) et *SMART-Project* ([Bousmah et al., 2006](#)), pour l'apprentissage à distance ; ainsi qu'aux environnements *ESSAIM* ([Despres, 2001](#)) pour le suivi pédagogique synchrone d'activités d'apprentissage à distance, et *SPLASH* ([George et Leroux, 2001](#)) comme environnement support à une pédagogie de projet.

Au chapitre trois, nous avons présenté la gestion et le suivi de projets comme des activités complexes, coopératives et peu instrumentées. Après avoir conçu l'environnement *iPédagogique*, nous nous sommes immédiatement interrogés sur le juste niveau d'assistance à proposer pour faciliter son utilisation. L'environnement s'est alors révélé un terrain d'expérimentation idéal pour la conception d'un système de médiation tel que nous l'avons décrit dans la section précédente (tableau 10).

Contexte	EIAH <i>iPédagogique</i>
Processus institutionnels	Enseignement supérieur
Activités collectives situées	Projets d'étudiants
Acteurs individuels parties prenantes	Enseignants, étudiants
Interactions coopératives médiatisées	Interventions de l'acteur <i>Médiateur</i>
Principes et dispositifs d'interactions (bureau)	Gestion et suivi de projets d'étudiants – IHM
Application collaborative	EIAH <i>iPédagogique</i>
Réseau et système d'exploitation	LAN, Windows

Tableau 10. *Caractérisation du contexte de coopération pour iPédagogique*

6.3.2. Description de l'application

Les principales motivations du développement d'*iPédagogique* étaient d'améliorer l'efficacité de l'enseignement sous un angle multi-utilisateurs ([Fougères et Canalda, 2002](#)). La démarche expérimentale⁹⁵ de conception de cet environnement facilite l'intégration de nouveaux services au moyen de solutions technologiques appropriées. Cette démarche itère les trois étapes suivantes : (1) émergence des besoins en formation, (2) conception et mise en œuvre de solutions, (3) retour d'expérience d'utilisation facilité par la participation positive des étudiants. Il était alors aisé de proposer puis d'intégrer un système de médiation pour *iPédagogique*.

6.3.2.1. Introduction

Dans une première démarche de conception d'un système d'assistance, qualifié de multi-assistance, nous avons retenu trois hypothèses ([Ospina et Fougères, 2003](#)) :

- H1 : *l'assistance adaptée à l'utilisation d'un système complexe correspond en fait à une multi-assistance* ; il nous faut nous assurer qu'il existe une assistance pour tous les types d'utilisateurs dans un contexte multi-usages ;
- H2 : *le système de multi-assistance doit être indépendant de la partie applicative de l'outil et de son interface*. L'hypothèse précédente conduit à réaliser un système distribué capable de spécialiser l'assistance selon les usages ;
- H3 : *le système de multi-assistance se construit de façon adéquate sous la forme d'un système à base d'agents*. La solution d'assistance proposée est rendue opérationnelle par un système autonome, composé d'assistants spécialisés. Notre hypothèse consiste alors à spécialiser chaque agent en fonction des cas d'utilisation identifiés, afin de fournir les aides ou les conseils aux utilisateurs avec le maximum de pertinence.

Après validation de cette démarche, nous l'avons étendue pour la conception de systèmes de médiation ([Ospina et Fougères, 2005](#)) en retenant les quatre propositions présentées plus haut (cf. § 6.1.3).

6.3.2.2. Le système de médiation intégré à iPédagogique

L'objectif général du système de médiation est de faciliter l'utilisation et la gestion de cet environnement pédagogique complexe en proposant un ensemble ergonomique et intelligent d'aides et de conseils à tous les utilisateurs, familiarisés ou non à ce type d'environnement. A titre d'exemple, l'activité du *Médiateur* pour le suivi de projet (interaction avec un groupe d'étudiants par intervention ou communication) est illustrée dans la figure 30. Son comportement coopératif envers le groupe d'étudiants s'y décline selon deux modes :

⁹⁵ Démarche expérimentale au sens de Claude Bernard : (1) le fait suggère l'idée (observation), (2) l'idée dirige l'expérience (hypothèse), et (3) l'expérience juge l'idée (vérification).

- 1) *Le mode intervention* : la figure présente la réaction du *Médiateur* faisant suite au retard d'un groupe de projet lors de la réalisation de la phase d'analyse – l'interaction est assurée avec l'étudiant responsable de la phase en question ; cette intervention est mémorisée par l'agent <Suivi> d'activité du *Médiateur*, et sera visible par l'enseignant tuteur lorsqu'il réalisera son suivi de projet et sera remémorée lors de l'évaluation finale.
- 2) *Le mode informationnel* (ici un rappel) : la figure fournit un exemple de conseil affiché par le système à la connexion d'un étudiant impliqué dans un projet. L'IHM envoie l'information de connexion au *Médiateur*. Celui-ci fait la sélection d'un conseil parmi ceux qu'il n'a pas encore fournis, l'envoi en guise de réponse à l'agent <agentIHM> pour affichage.

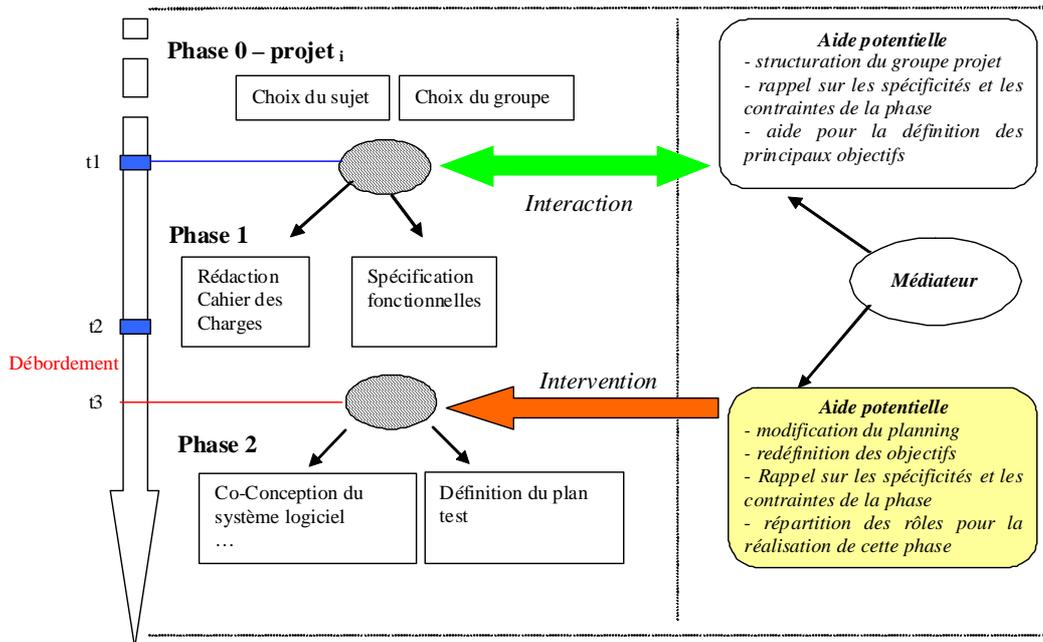


Figure 30. Intervention du Médiateur, suite à un débordement de phase

6.3.2.3. Conception du Médiateur

La conception du *Médiateur* est réalisée en trois étapes : faisabilité, spécification et conception proprement dite. Nous illustrons cette conception sur la tâche « Ecrire un cahier des charges ».

Etape de faisabilité. Le but de cette étape est l'obtention d'un bilan d'étude qui servira à la justification de la conception du *Médiateur*. Les trois tableaux suivants illustrent les phases d'analyse des acteurs (tableau 11, modèle MA de *CommonKADS*), de l'activité (tableau 12, modèle MT selon la TA) et de l'organisation (tableau 13, modèle MO de *CommonKADS*).

Modèle de l'acteur (MA)	Feuille de l'acteur MA-1
Nom	Etudiant
Organisation	Appartient au groupe de projet
Inséré à	Toutes les tâches de gestion du projet
Communique avec	Autres acteurs étudiants et enseignants
Connaissance	Méthodes de gestion de projets, connaissances du domaine.
Autres compétences	Capacités de coopération et de coordination.
Responsabilités et restrictions	Doit assurer la réalisation des activités requises par le système coopératif

Tableau 11. Exemple de modèle d'acteur pour un étudiant

Modèle de tâche (MT)	Feuille de tâche MT-1
Objet	Ecrire un cahier des charges (CdC) à partir d'une expression de besoins et définir les objectifs et les limites du projet
Acteurs	L'équipe projet (responsable, rédacteurs, interviewers) et les enseignants
Sous-Tâches	Etudier la faisabilité, identifier les services attendus, fixer les objectifs, répartir les rôles, rédiger le CdC, remettre le CdC
Délais	10 % par défaut (+ 5 % si choix tardif)
Validation	Validation (ou rejet) et commentaires de l'enseignant tuteur sur le CdC
Entrées/Sorties	Description des besoins (énoncé du projet) Cahier des charges ; annotation fiche de synthèse du projet
Outils	<i>iPédagogique</i>
Contexte coopératif	Co-production émergente
Compétences requises	Connaissances du domaine, communication, co-production

Tableau 12. Exemple de modèle de tâche pour la spécification de projets d'étudiants

Modèle l'organisation (MO)	Feuille de Problèmes et Opportunités MO-1
Problèmes et opportunités	Communication effective entre enseignants et étudiants. Conscience du travail des étudiants
Contexte de l'organisation	Coopération obligée, environnement universitaire
Solution	Définition d'un acteur <i>Médiateur</i> pour faciliter les activités coopératives des acteurs engagés dans la gestion et le suivi de projet d'étudiants.

Tableau 13. Le modèle d'organisation

Suite à l'étape de modélisation précédente et à l'identification des types de coopération existant entre les acteurs pour la réalisation de chacune des tâches (tableau 14), il est possible d'établir le graphe de coordination des sous-tâches (figure 31) : les carrés représentent les sous-tâches et les cercles leurs produits ([Malone et al., 1999](#)).

Tâche	Acteurs	Type de coopération				
		communication	coordination	Co-production	Co-mémorisation	contrôle de tâches
Ecrire un cahier des charges	Groupe d'étudiants	×	×	×		
	Enseignant tuteur/évaluateur	×				×

Tableau 14. Modèle de coopération des activités "Ecrire un cahier des charges"

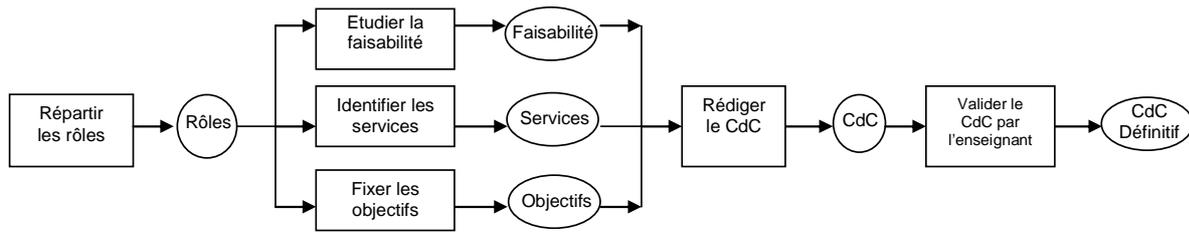


Figure 31. Diagramme de sous-tâches « Ecrire un cahier des charges »

Le rôle du *Médiateur* pour les deux scénarii présentés dans la figure 30 varie : (1) dans le premier scénario, la communication pour la structuration du groupe, le rappel des contraintes, ou l'aide à la définition des objectifs des acteurs, nécessitent une communication intense que l'acteur *Médiateur* facilite ; (2) l'intervention du *Médiateur* dans le cas d'un débordement, le travail individuel produit des conflits observés, puis relayés par le *Médiateur* ; ce dernier propose au choix de définir un nouveau planning ou une nouvelle répartition de rôles.

Etape de spécification. Cette étape consiste à spécifier les tâches à médier, les compétences nécessaires pour réaliser une tâche, les différentes interactions et la BC. Les tâches à médier sont identifiables dans le modèle général de GPE, à savoir : choisir un projet, écrire le cahier des charges, écrire les spécifications du projet, écrire le document de conception, coder, écrire le document de tests et d'intégration, valider en soutenance. Quant à la spécification des compétences coopératives du *Médiateur*, indispensables à son activité d'assistance, elle repose sur la considération des 5Co. Pour la spécification de la BC nous avons identifié, puis défini deux types de connaissances (cf. chapitre 3) : les connaissances initiales du domaine (discipline, utilisateurs et conseils) et les connaissances acquises au travers des activités assistées par *iPédagogique* (mémoires d'activité et de résolution de problèmes).

Le mode intervention du *Médiateur*, pour l'instant limité aux activités de gestion et de suivi de projets, est illustré dans la figure 32 : la réaction du *Médiateur* fait suite au retard d'un groupe de projet, lors de la réalisation de la phase de spécification. L'interaction sera assurée avec l'étudiant responsable de la phase en question. Le système de médiation observe les propositions et contre-propositions des acteurs, et décide d'informer selon les règles ECA qui lui sont définies. Les acteurs n'ont pas besoin de communiquer avec tous les autres acteurs, puisque c'est le rôle du *Médiateur* ; ceci évite la duplication d'informations.

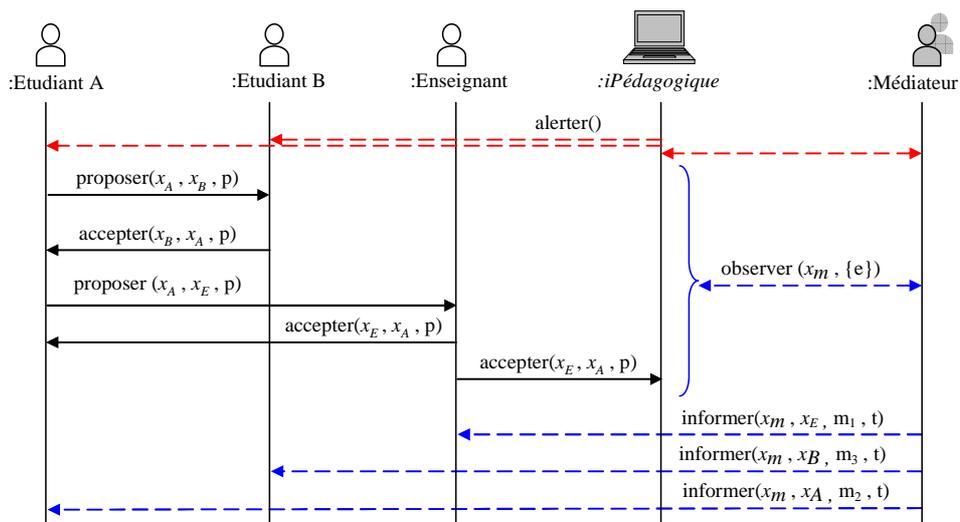


Figure 32. Les interactions entre les acteurs et le Médiateur dans le scénario de la figure 30

Etape de conception. Cette étape comprend la définition de l'architecture du *Médiateur*, la description des agents du *Médiateur* et la conception de sa BC. L'architecture agent du

Médiateur, est composée des huit agents présentés dans la figure 29, avec deux agents observateurs (scrutation et communication). Les compétences de ces huit agents sont répertoriées dans le tableau suivant (tableau 15). Des agents observateurs sont définis pour observer deux fonctions spécifiques de coopération : l'observation de la structuration des acteurs et l'observation des actes de communication.

Agents	Rôles
<Observation ₁ >	Obtenir les informations de structuration du groupe Obtenir les informations du suivi de l'activité cahier des charges.
<Contrôle>	Gérer l'activité du <i>Médiateur</i>
<Mémoire>	Gérer la mémoire d'activité
<Suivi>	Gérer le suivi et l'organisation de l'activité coopérative
<Connaissance>	Interpréter et décider avec le support de la base de connaissances
<Communication>	Communiquer avec les étudiants et les enseignants
<Coordination>	Coordonner les activités des acteurs

Tableau 15. *Les compétences des agents du Médiateur*

6.4. Application : conception d'un *Médiateur* pour l'atelier *MO-AFT*

L'un des objectifs de l'application précédente était de montrer la pertinence de passer d'un système de multi-assistance à un système de médiation. La présente application nous permet de proposer un cadre méthodologique pour la conception de ce type de système dans un contexte d'activité coopérative plus intensive ([Ospina et Fougères, 2009b](#)).

6.4.1. Présentation

Afin d'améliorer la méthodologie de conception des systèmes de médiation, nous l'avons expérimentée pour l'atelier coopératif d'analyse fonctionnelle *MO-AFT* (cf. §4.3.1) supporté par la plate-forme *PLACID* (cf. §5.3) ([Ospina et Fougères, 2009a](#)). Cet atelier intègre un ensemble de μ -outils coopératifs qui permettent d'instrumenter les différentes tâches à réaliser lors de l'analyse fonctionnelle d'un objet ou d'un système mécanique.

6.4.2. Description de l'application

6.4.2.1. Les μ -outils de l'atelier *MO-AFT*

Avant de décrire le *Médiateur*, nous présentons quelques éléments de conception des μ -outils de *MO-AFT*.

Identification des μ -outils

Cette phase du processus *ICI* (cf. §2.4.1) doit permettre d'identifier les μ -outils susceptibles d'apporter une assistance à l'analyse fonctionnelle. Ce processus d'identification conduit à l'élaboration d'un modèle de tâches sous la forme d'un actigramme SADT⁹⁶, point de départ de la conception des μ -outils : (1) analyse de l'activité, puis construction de graphes d'activité de référence ; (2) identification des μ -outils dans les graphes d'activité ; et (3) déduction des actigrammes SADT de référence, à partir des graphes d'activité. Cette phase a permis d'établir que la démarche d'AF devrait s'appuyer sur l'utilisation de 12 μ -outils :

⁹⁶ Notre démarche n'impose aucun formalisme pour modéliser les tâches ; des formalismes tels que *CARD* (*Collaborative Analysis Requirements and Design*), *ACTU* (*Analyse Collaborative des Taches des Utilisateurs*) ou *MAD* (O'Neill & Johnson 04 ; Scapin, 1990), peuvent être utilisés.

- six μ -outils pour l'AFE : *Milex*, *Devo*, *Beso*, *Isys*, *Caraf* et *Hiera*, pour respectivement définir les milieux extérieurs (limites du système), définir l'évolution du système (cycle de vie), définir les besoins, établir la liste des fonctions, puis les caractériser et les hiérarchiser ;
- et six μ -outils pour l'AFT : *Nomen*, *Flux*, *Conta*, *Granu*, *Fast* et *Coll*, pour respectivement créer la nomenclature, réaliser les diagrammes de flux et de contact, assurer la granularité adaptée, réaliser le diagramme FAST⁹⁷ et collecter les données du processus.

Spécification des μ -outils

La spécification des μ -outils fait appel à trois types de diagramme UML : (1) un diagramme de cas d'utilisation facilement déductible de l'actigramme SADT construit pour modéliser l'activité de référence d'analyse fonctionnelle ; par ailleurs, un μ -outil spécifique permet de créer des processus d'utilisation des μ -outils ce qui est bien utile lorsqu'il s'agit de suivre une méthodologie prescrivant un usage ; (2) un diagramme de classe pour chaque μ -outil : une classe pour le μ -outil lui-même, une classe pour son IHM et un ensemble de classes pour gérer les objets de conceptions associés ; (3) des diagrammes de séquence qui permettent de décrire les interactions entre agents impliqués dans les scénarii de référence.

6.4.2.2. Conception des agents

L'atelier MO-AF, en plus des agents déjà disponibles sur la plate-forme PLACID, nécessite le déploiement de trois autres types d'agents : les agents μ -outils (<Milex>, <Devo>, <Beso>, <Isys>, <Hiera>, <Caraf>, <Nomen>, <Flux>, <Conta>, <Granu>, <Fast>, <Coll>), un agent <bureau> pour assister la session de travail du concepteur, un agent <ClientCorba> et un agent <ServeurCorba> pour gérer la coopération ainsi que le contexte multi-utilisateur. Le tableau 16 recense les différentes compétences mises en œuvre par chaque agent.

Agents	Compétences
12 μ -outils	Gestion des μ -outils d'AFE et d'AFT interactions utilisateurs et IHM associées.
<Bureau>	Communication avec <ClientCorba>. Coordination des agents μ -outils. Transmission des données de projets. Communication à l'utilisateur des informations de coopération.
<ClientCORBA>	Gestion des communications (messages et événements) côté client. Communication avec l'agent <ServeurCorba> (requête de l'utilisateur). Transmission des informations coopératives au bureau de l'utilisateur.
<ServeurCORBA>	Gestion des communications (messages et événements) côté serveur. Communication avec l'agent <ClientCorba> (réponse à l'utilisateur). Gestion des accès concurrents aux données. Gestion des sessions des utilisateurs.
<BD> et/ou <XML>	Gestion de fichiers XML (création, ouverture, enregistrement, destruction, etc.). Gestion des échanges (requêtes/réponses) avec une BD, et transfert de données.

Tableau 16. *Compétences des agents d'AF*

6.4.2.3. Intégration d'un Médiateur dans MO-AFT

Contexte de médiation

Le contexte architectural de l'application coopérative cible de la médiation est analysée selon notre référentiel (figure 25). Le système de médiation y est associé aux trois couches centrales : acteurs individuels, interaction coopérative et dispositifs d'interaction. Le tableau 17 présente la caractérisation du contexte de coopération pour une analyse fonctionnelle collective.

⁹⁷ *Functional Analysis System Technique.*

Contexte	Analyse Fonctionnelle Technique
Processus institutionnels	Conception dans l'Industrie
Activités collectives situées	Conception collaborative
Acteurs individuels parties prenantes	Animateur, groupe de concepteurs
Interactions coopératives et collaboratives médiatisées	Interventions de l'acteur <i>Médiateur</i>
Principes et dispositifs d'interactions (bureau)	μ-outils de l'atelier <i>MO-AFT</i>
Application collaborative	<i>PLACID</i>
Réseau et système d'exploitation	LAN, Windows

Tableau 17. *Caractérisation du contexte de coopération pour une AFT*

La réalisation d'une AFT correspond bien souvent à une activité collective dans laquelle des acteurs métiers travaillent alternativement en modes individuel et collectif, pour produire un modèle unique de système ou d'objet à concevoir, résultat d'un consensus. L'analyse de l'activité fait ressortir un ensemble de besoins fonctionnels que nous traduisons comme autant de services que peut rendre l'atelier *MO-AFT*. Le contexte plus détaillé de l'activité d'AFT est donné dans la figure 33. L'actigramme SADT proposé, source de la méthodologie, décompose l'activité en un ensemble de tâches, dont on peut déterminer la nature coopérative. Ces tâches coopératives peuvent évidemment se traduire par des difficultés de mise en œuvre.

Caractérisation de la coopération

Faciliter les activités coopératives instrumentées, telle que la conception collaborative, c'est entre autre améliorer le cadre de résolution de problème. Dans ce sens, Matta et al. (1999) ont établi une typologie de problèmes comportant trois branches : produit, processus et travail de groupe. Dans la proposition d'une assistance à la coopération il devient utile de se concentrer sur les problèmes typiques du travail de groupe (problèmes organisationnels, problèmes relationnels et problèmes de transmission/compréhension dans les échanges).

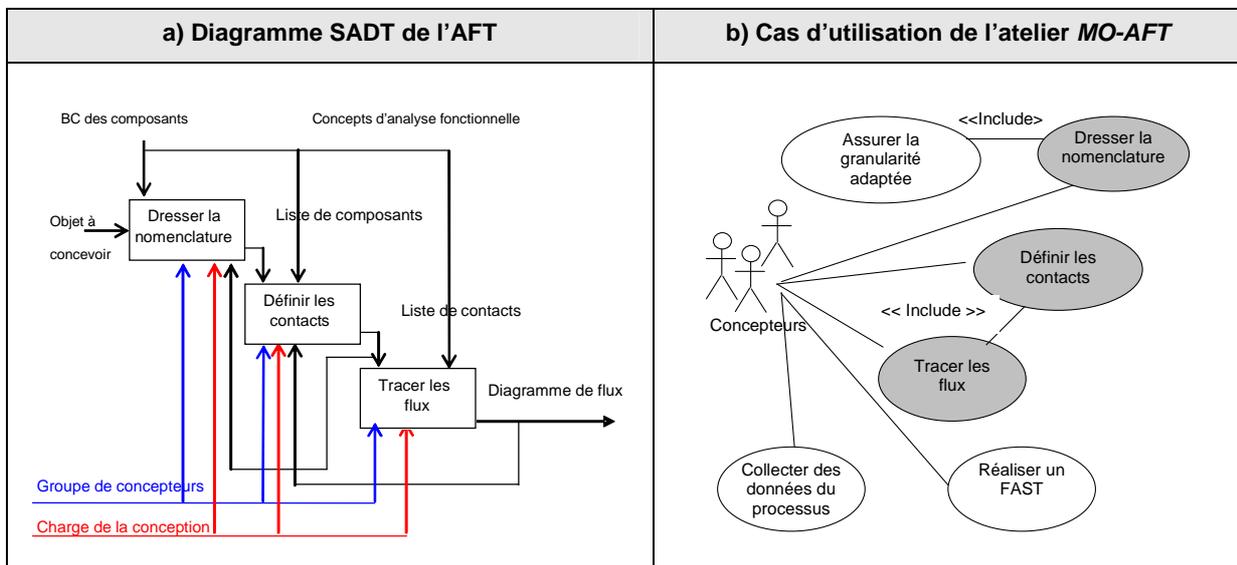


Figure 33. a) *Diagramme SADT partiel de l'AFT*, et b) *cas d'utilisation pour leur instrumentation*

Pour établir si cette activité est coopérative, et justifie le développement d'un système de médiation, nous nous appuyons sur un ensemble de questions (cf. §6.2.2.1) : l'activité est-elle intrinsèquement collective ? Le travail des acteurs est-il individuel ou collectif ? La réalisation des tâches de cette activité fait-elle appel à des fonctions de communication, de coordination, de co-production ? Une fusion des objets produits est-elle nécessaire (chaque acteur produit ses propres objets et peut contribuer aux objets des autres acteurs) ? Les résultats (final et/ou

intermédiaires) sont-ils obtenus suite à des résolutions de conflits ? Etc. Pour l'activité d'AFT que nous considérons ici, les réponses aux questions précédentes sont affirmatives. La décision du développement de la médiation peut être prise, soutenue par la dimension coopérative effective de cette activité (coopération multi-métiers) et par la complexité du système cible. Nous avons alors identifié trois types de scénarii coopératifs, dans lesquels sont réalisés un ensemble de tâches collectives variées, classifiées par les ergonomes cognitifs en tâches additives, conjonctives, disjonctives et divisibles ([Leplat, 1994](#)) :

- le premier scénario (*co-production émergente*), expérimenté avec la tâche « Dresser la nomenclature » : les acteurs ont une vision partagée des données de la nomenclature (perception mutuelle), partagent les ressources, communiquent intensément et négocient pour valider collectivement les différents composants de la nomenclature ;
- le deuxième scénario (*co-production intégrative*), expérimenté avec la tâche « Définition des contacts » entre composants du produit analysé : les acteurs travaillent individuellement sur leurs tâches et ont des conflits à résoudre (consensus nécessaire) ;
- le troisième scénario (*co-production augmentative*), expérimenté avec la tâche « Définition de flux » : les acteurs superposent leurs points de vue sur le produit final (les flux sont une séquence de contacts pour lesquels existe un flux d'énergie), articulants ainsi leur production spécifique ([Zacklad, 2005](#)).

La figure 34 schématise ces trois scénarii de co-production. L'action coopérative des acteurs selon ces scénarii peut porter sur de la communication, de la co-production avec risque de conflits lors de l'accès aux mêmes composants d'un objet ou de la production individuelle avec un point de vue spécifique sur l'objet, ce qui entraîne un enrichissement de l'objet co-construit. Le rôle du *Médiateur*, dans ces trois scénarii, varie : (1) dans le premier, la coordination des acteurs nécessite une communication intense facilitée par le *Médiateur*, quant à la validation des productions elle fait suite à une négociation, qui peut aussi être facilitée par le *Médiateur* ; (2) dans le second, le travail individuel produit des conflits observés puis relayés par le *Médiateur* ; (3) dans le dernier, la production individuelle est de loin la moins assistée par le *Médiateur*, son rôle se limitant à une simple transmission d'informations aux différents acteurs.

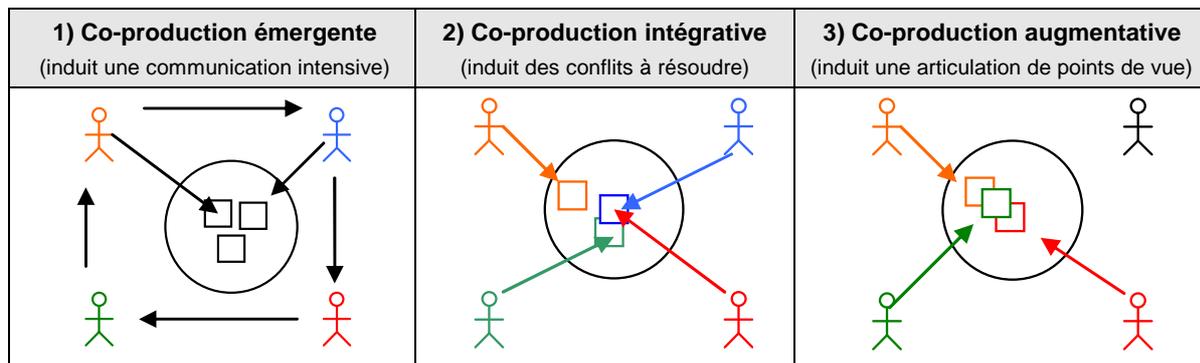


Figure 34. Trois situations typiques de coopération dans la co-production

Définition du Médiateur. Elle comprend la spécialisation de l'architecture du *Médiateur*, avec notamment la définition de trois agents d'observation d'activité (<Nomenclature>, <Contacts> et <Flux>), la conception des agents du *Médiateur* et la conception de la base de connaissances. Les compétences du *Médiateur* lui permettent d'assurer la médiation pour l'ensemble des tâches d'AFT instrumentées par les μ -outils identifiés (cf. §6.4.2.1).

Une illustration : la tâche « Dresser la nomenclature ». L'actigramme SADT produit comme point de départ de notre méthodologie, décompose l'activité de référence en un ensemble de tâches de nature coopérative. Ces tâches coopératives sont souvent difficiles à mettre en œuvre. C'est notamment le cas de la tâche « Dresser la nomenclature » quand les concepteurs ont pour buts collectifs de (1) construire la liste de noms (appropriés et consensuels) et parvenir

à une granularité optimale ; (2) identifier les attributs et les associer aux composants, sans coordination minimale entre les concepteurs ; et (3) valider les composants par ajustement de l'ensemble des listes de composants, sans se référer à une organisation (consensus de tous les concepteurs ou décision d'un coordinateur du groupe). Pour réaliser cette tâche, les acteurs ont une vision partagée de la nomenclature, communiquent intensément et négocient pour produire une nomenclature commune et consensuelle. Le tableau 18 décrit cette tâche.

Modèle de tâche (MT)	Feuille de tâche MT-1
Objet	Dresser la nomenclature des composants du système. La nomenclature (noms, attributs, granularité, contacts et flux) définie à partir des connaissances du groupe de concepteurs
Acteurs	L'équipe projet (animateur, concepteurs)
Sous-tâches	Etudier les composants, identifier ses attributs, fixer les noms, définir la granularité, valider la nomenclature
Délais/durée	Estimation à 30% de l'AFT (tâche prescrite dans un processus séquentiel)
Validation	Faite par approbation de l'ensemble des concepteurs
Entrées/Sorties	Description de l'objet à concevoir et de son environnement d'utilisation Nomenclature complète ; CR d'AFT
Outils, μ -outils	Les μ -outils <i>NOMEN</i> et <i>Papoticiel</i>
Contexte coopératif	Coproduction émergente
Compétences requises	Connaissances de l'AFT, communication, co-production

Tableau 18. *Modèle de la tâche « Dresser la nomenclature »*

Interaction			Médiation	
Actions	μ -outil	Acte de coopération	Information synchrone pour les acteurs	Trace à mémoriser (asynchrone)
Ouverture projet	<i>NOMEN</i>	Coordination	Message de coordination	<i>Projet, ouverture, acteur, date</i>
Proposition	<i>Papoticiel</i>	Communication	Message de production diffusé à tous les acteurs	<i>Proposition, acteur, date</i>
Acceptation / Contre-proposition/ Refus	<i>Papoticiel</i>	Co-production	Messages de réponses : <acceptation contre-propositions refus>	<i>Décision, {acteurs}, date, proposition, {contre-propositions}</i>
Enregistrement projet	<i>NOMEN</i>	Co-mémorisation	Message de co-mémorisation	<i>Projet, enregistrement, acteur, date, {Composants et attributs}</i>
Fermeture projet	<i>NOMEN</i>	Coordination	Message de coordination	<i>Projet, fermeture, Acteur, date</i>

Tableau 19. *Interactions du Médiateur pour la tâche « Dresser la nomenclature »*

La présentation exhaustive des diagrammes UML pour la conception du *Médiateur* n'offre pas d'intérêt particulier. Aussi, nous n'illustrons cette étape de conception qu'avec les diagrammes de séquences (figures 35 et 36) correspondant au scénario de collaboration entre le *Médiateur* et les acteurs impliqués dans la réalisation de notre tâche de référence. Considérons alors les interactions survenues pendant la réalisation de cette tâche par les trois acteurs *A*, *B* et *C*. L'action principale est la « proposition d'un composant de nomenclature ». L'acteur *A* fait la proposition *p* aux acteurs *B* et *C* (typiquement la proposition d'un composant). De son côté, le *Médiateur* est informé de la proposition *p* par l'intermédiaire de ses agents observateurs. L'acteur *C* accepte la proposition *p*, par contre l'acteur *B* envoie une contre-proposition *p'*. Le *Médiateur* ayant observé en continue cet échange informe l'ensemble des acteurs de la contre-

proposition p' . Son action permet à chaque acteur d'obtenir un compte rendu des échanges de propositions, sans qu'ils aient à le réclamer ou à le diffuser par eux-mêmes.

Notons que, si pour chaque action d'un acteur nous avons recensé dans le tableau 19 l'acte de coopération majeure (connotation de l'acte), il s'agit bien entendu d'une simplification de présentation – les 5Co sont toujours présents d'une façon plus ou moins explicite.

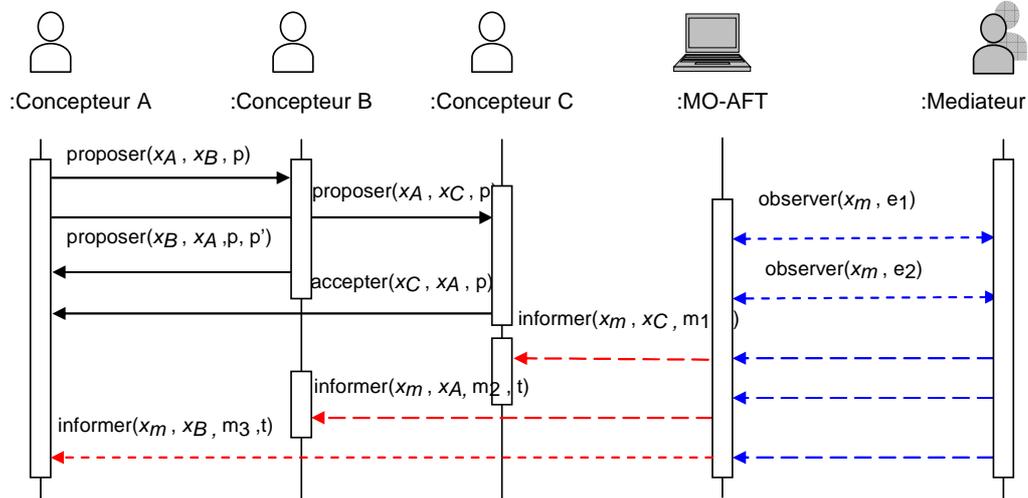


Figure 35. Interactions entre les trois concepteurs, le Médiateur et le système coopératif

Quant à la BC du Médiateur, elle comprend les connaissances du domaine, de l'activité, les conseils répertoriés et la mémoire des activités antérieures sous forme de cas. La conception globale de cette BC, ainsi que son exploitation, sont exposées dans ([Ospina et al., 2005](#)).

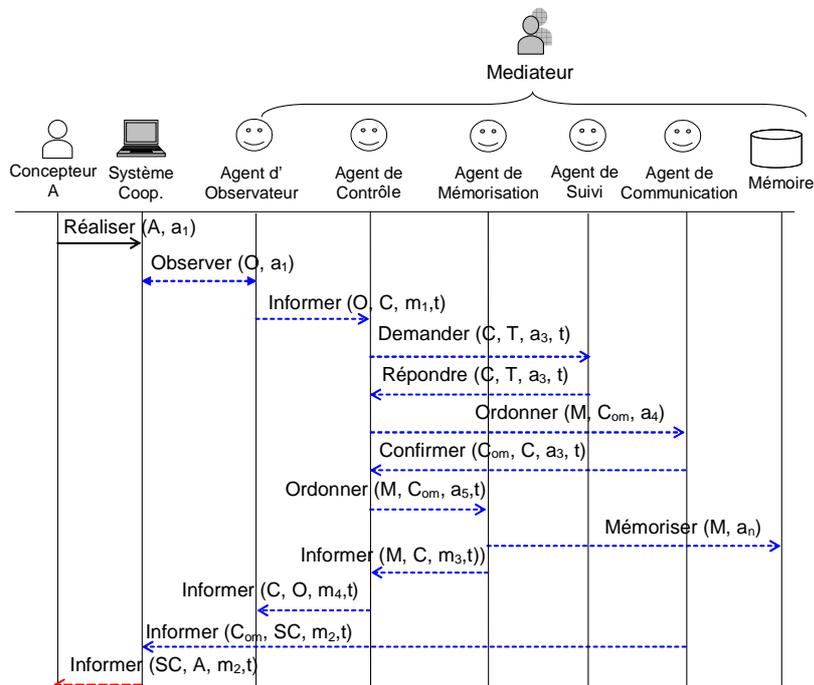


Figure 36. Interactions entre les agents du Médiateur, le système coopératif et la mémoire

La figure 37 illustre le scénario précédent. Elle présente une vue d'écran de l'usage par le concepteur « AJF » de l'atelier d'analyse fonctionnelle pour la tâche coopérative « Dresser la nomenclature » dans le projet « Réchaud Complet ». Trois μ -outils sont ouverts dans son bureau d'activité : (1) *NOMEN* pour travailler sur la nomenclature (nom, attributs), (2) *PAPOT* qui permet de communiquer avec les différents concepteurs ; dans le cas présent on constate

que trois participants ont pour rôle de dresser la nomenclature ; et (3) *INFO* qui fournit à chaque participant des informations concernant son activité individuelle, ainsi que celles des autres participants, produites par le *Médiateur* et disponibles sur l'onglet « Med ». Les concepteurs peuvent communiquer pour définir la nomenclature. Dans le cas présent le *Médiateur* rend visible au concepteur « AJF », sous la forme d'un compte-rendu de discussion, que les concepteurs « Victoria » et « PAW » ont eu une communication restreinte aboutissant à une décision sur l'ajout du composant « Buse ». L'acteur « AJF » ayant déjà accepté cet ajout, la décision est donc consensuelle.

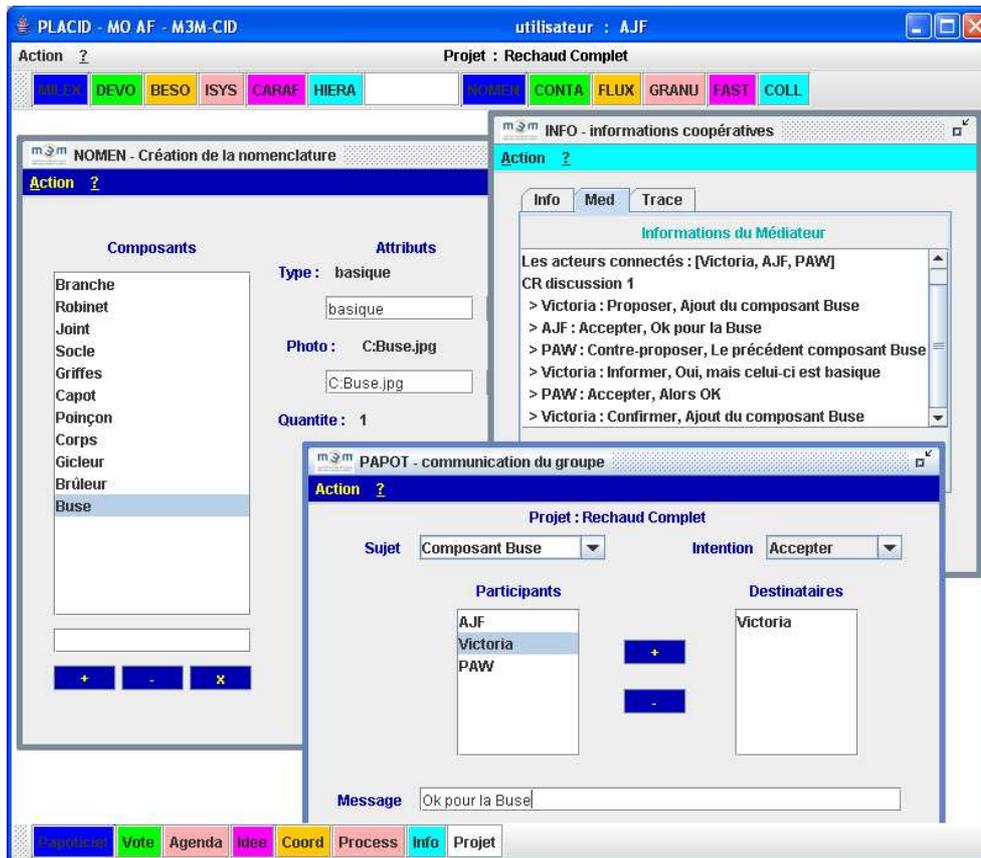


Figure 37. Vue d'écran : scénario de collaboration pour fixer les noms

Les informations collectées par le *Médiateur* dans le scénario précédent pourront être rappelées ultérieurement, notamment lors de la phase finale de rédaction d'un compte rendu de l'activité (Ospina et Fougères, 2009). En effet, un conflit entre les acteurs PAW et Victoria pour l'ajout du composant buse est apparu ; le *Médiateur* l'a mémorisé sous la forme d'un cas de résolution de problème (RdPb) qu'il pourra remémorer (cf. fiche de la figure 9.b) :

$$\text{RdPb} = \langle \text{objet}, \{(\text{solution}_i, \text{acteur}_j)\}, \text{décision}, \text{évaluation} \rangle \quad (6.1)$$

Les connaissances acquises au cours de l'activité de conception instrumentée par l'atelier *MO-AFT*, sont disponibles à la demande des concepteurs, notamment pour les travaux de synthèse collective. Ainsi, comme l'illustre la figure suivante (figure 38) la rédaction/génération du rapport final peut être assistée par le médiateur. La liste des composants (nomenclature) conçus avec les μ -outils est éditable par les concepteurs. Des marques peuvent apparaître dans cette liste lorsque le médiateur y a intégré des traces de coopération, tels que les échanges de message conduisant à une décision collective - ces connaissances acquises progressivement par le *Médiateur* sont mémorisées au format XML. La figure 38 présente le rapport de nomenclature produit avec l'intervention du *Médiateur*. Le μ -outil *NOMEN* a permis aux concepteurs de définir l'ensemble des composants d'un réchaud. La définition spécifique de la « Buse » a entraîné une série d'échanges entre les concepteurs. Le *Médiateur* les a mémorisés et peut ainsi les

remémorer lors de l'édition du rapport, laissant le choix aux concepteurs de consigner (ou non) ces détails de conception dans leur rapport.

RAPPORT	DATE : 14/11/2008
AFT : Réchaud	PARTICIPANTS : AJF, PAW Victoria

<input type="checkbox"/> Nomenclature	
Nom	Quantité
<input type="checkbox"/> Branche	4
<input type="checkbox"/> Robinet	1
<input checked="" type="checkbox"/> Joint	1
<input type="checkbox"/> Socle	1
<input type="checkbox"/> Giffe	2
<input type="checkbox"/> Capot	1
<input type="checkbox"/> Poinçon	1
<input type="checkbox"/> Corps	1
<input type="checkbox"/> Brûleur	1
<input checked="" type="checkbox"/> Buse	1

Propose (Victoria, all, "Ajout du composant Buse")
Accept (AJF, Victoria, "Ok pour la Buse")
Contre-proposer (PAW, Victoria, "Le précédent composant Buse")
Inform (Victoria, PAW, "Oui, mais celui-ci est basique")
Accept (PAW, Victoria, "Alors OK")
Confirm (Victoria, all, "Ajout du composant BuseBuse")

<input checked="" type="checkbox"/> Contact
<input checked="" type="checkbox"/> Flux

Figure 38. Exemple de trace de conception mémorisée par le Médiateur

6.5. Conclusion

Après avoir proposé, puis défini le concept de système de médiation, nous l'avons illustré, en première application, sur un environnement pédagogique. Cette médiation n'a pas pour objectif de se substituer aux utilisateurs ; elle les aide à évoluer et à coopérer dans leurs différentes tâches. Lors de cette première expérimentation de développement de *Médiateur* nous nous sommes principalement intéressés à la dimension « connaissances » du *Médiateur*. Nous avons classifié les connaissances par rapport à leurs finalités : les connaissances initiales, certaines statiques, d'autres évolutives mais d'une durée de vie limitée à la réalisation d'un projet, et les connaissances acquises, construisant une mémoire structurée dans une base de cas, accessibles par les futurs utilisateurs de l'environnement pédagogique.

Les bénéfices de la médiation dans l'environnement *iPédagogique* ont été confirmés par les différents utilisateurs (étudiants, enseignants, administrateur) et vérifiés par l'observation de leurs modes d'utilisation. C'est le développement d'une plus large assistance qui s'impose. Plutôt que de travailler sur la seule perspective d'une médiation pour la gestion de projets, une réflexion plus générale, centrée sur l'ensemble des cas d'utilisation identifiés pour la première version de l'outil, doit guider la conception de la future version du système de médiation. Notons cependant que la production des fiches de résolution de problèmes n'a pas été aussi significative qu'attendue, malgré l'intérêt formulé par les étudiants ! C'est un aspect à considérer pour la prochaine version d'*iPédagogique*, car la disposition de ce type de fiches serait bien utile pour assister l'enseignant tuteur dans sa tâche finale d'évaluation de projet.

Au-delà des résultats obtenus pour ce premier projet, les perspectives s'orientaient vers l'élaboration d'une méthodologie de conception de système de médiation adapté aux systèmes complexes de types distribués et coopératifs. Aussi, nous nous sommes lancés dans une seconde expérimentation de conception de système de médiation, cette fois pour un atelier coopératif d'analyse fonctionnelle. L'application *MO-AFT* nous a permis de bien identifier des

modes d'interaction usuels en co-conception, ainsi que des types de cooperation pour lesquels la mediation etait a priori possible, puis s'est revelee pertinente. Nous avons alors valide l'integration d'un tel systeme dans l'atelier *MO-AFT*, par l'experimentation de trois scenarii typiques (co-production emergente, integrative puis augmentative) suivis lors de la realisation de trois taches distinctes (« Dresser la nomenclature », « Definir les contacts » et « Definir les flux ») instrumentees par les trois μ -outils appropries (*NOMEN*, *CONTA* et *FLUX*). Un quatrieme scenario de cooperation (analogue au tableau blanc et faisant appel a un mode de type « Miroir ») est apparu en cours d'experimentation. Enfin des perspectives tres attractives d'aide a l'elaboration de compte rendu d'activite de conception collaborative sont apparues a l'issue de cette experimentation.

L'elaboration d'une methodologie de conception de systemes de mediation nous a conduit dans un premier temps a proposer une architecture tridimensionnelle : la premiere dimension concerne la cooperation, la seconde l'assistance et la troisieme est relative aux connaissances necessaires aux deux precedentes. Nous nous sommes alors concentres sur l'adequation du *Mediateur* aux caracteristiques des systemes de cooperation cibles. Ceci nous a permis d'affiner la methodologie et de proposer trois phases pour la structurer (faisabilite, specification et conception). Certes notre *Mediateur* n'a pas encore les qualites d'un *Animateur* qui, outre faciliter la communication pour ameliorer la cooperation, aurait la faculte d'arbitrer les conflits, de gerer les discussions (en verifiant la participation de tous les acteurs ou en regulant la prise de tour de parole) et de gerer la progression du travail.

« Ah ! la science est belle et sublime, ...
Elle sonde le fait, le chiffre, l'élément ;
Elle est vaste à ce point qu'il semble par moment
Que son puissant compas fait le tour de l'espace. »

Victor Hugo⁹⁸

CHAPITRE 7.

BILAN ET PERSPECTIVES

Nous venons d'exposer un peu plus de dix ans de recherches portant sur cinq thématiques. Il est temps de procéder à un bilan et de proposer les perspectives émergeant de nos travaux. Nous reprenons donc dans ce chapitre chacun des thèmes déclinés dans le mémoire, en rappelant les principaux résultats obtenus, puis en développant certaines perspectives prometteuses ; celles qui orientent dès à présent nos recherches.

7.1. Bilan sur les thèmes TAL et connaissances

Le thème « TAL pour l'aide à la conception logicielle »

Les principaux résultats sur ce thème :

- la validation des propositions de notre thèse ([Fougères, 1997](#) ; [Fougères et Trigano, 1997](#) ; [Fougères et Trigano, 1999](#)) ;
- l'adaptation des travaux précédents au contexte pédagogique ([Fougères, 2004](#)), avec la conception d'un prototype d'aide à la conception UML ;
- la proposition d'une démarche d'aide à l'instrumentation participative de type μ -outils ([Fougères, 2006](#)).

Dans le chapitre 2, nous avons présenté le domaine du traitement du langage naturel, centré sur la compréhension de textes techniques, puis nous avons décrit nos travaux de recherche sur l'aide à la conception logicielle ; travaux que nous avons poursuivis depuis la soutenance de notre thèse. Nos actions de recherche centrées dans un premier temps sur l'interaction pour concevoir, ce sont ouverts à la coopération dans la conception. Deux types de perspectives se dégagent de ces travaux :

- Des perspectives d'aide interactive à la conceptualisation, pour lesquelles nous définissons trois actions : (1) poursuivre les travaux sur l'aide à la conception objet et agent – l'application à l'enseignement est immédiate ; (2) définir un langage de description tridimensionnelle (structure-fonction-dynamique) ; et (3) faciliter la conception participative (l'informaticien, les experts du domaine et les futurs utilisateurs) en proposant un outil capable de représenter sous forme diagrammatique (diagrammes de classes, d'actions et de séquences) les descriptions de besoin énoncées par le futur

⁹⁸ Victor Hugo, *La Légende des Siècles*, Editions Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, 1950.

utilisateur non nécessairement informaticien. Cette dernière perspective, que nous avons commencée à étudier ([Fougères, 2006](#)), est développée dans la section suivante. De toute évidence, les systèmes supports à cette conceptualisation participative doivent devenir plus « intelligents » ([Morand, 2004](#)) ; des interactions avec leurs utilisateurs dépend la pertinence de l'assistance proposée. Ces systèmes permettraient alors d'accompagner au mieux l'« *intelligence humaine dans le travail de conception* » ([Deshayes, 2006](#)), en offrant des fonctionnalités de co-construction diagrammatique.

- Des perspectives pour la médiation : améliorer l'usage des logiciels coopératifs et proposer un cadre de communication plus naturel (*i.e.* à partir d'un langage éventuellement restreint) entre les utilisateurs de ces logiciels et le système de médiation conçu pour faciliter leur coopération. Nous pensons en effet, que les avancées dans le domaine du dialogue homme-machine ([Allen et al., 2001](#) ; [Luzzati, 2006](#)) – établissement d'une véritable interaction verbale (écrite ou orale) entre les utilisateurs et le système – devraient améliorer l'interaction entre un groupe d'acteurs et un médiateur artificiel (*cf.* chapitre 6).

Perspective développée : l'aide à la conception de micro-outils logiciels

Nous développons ici le projet de recherche sur l'assistance à la conception d'applications légères que nous appelons « μ -outils » et qui peuvent être déployés sur une plate-forme coopérative ([Fougères, 2004](#) ; [Fougères, 2010](#)). Le concept de μ -outil ([Van Handenhoven et Trassaert, 1999](#) ; [Fougères et Micaëlli, 2006](#)) s'oppose à la tendance actuelle des outils de conception, souvent lourds, prescriptifs, et parfois peu employés. Il apporte une réponse intéressante au caractère opportuniste du processus de conception ([Visser, 2001](#)). Un concepteur peut utiliser certains de ces outils pour réaliser une tâche, mais pas nécessairement. L'usage des μ -outils apparaît alors bien adapté aux activités non routinières, en particulier créatives. Les propriétés de ces outils sont idéalement : faciles à apprendre et à utiliser (quelques minutes), peu complexes, rapidement implémentables et évolutifs. Le développement d'un μ -outil s'inscrit spontanément dans une démarche orientée activité. Nous avons alors défini un processus de développement participatif des μ -outils, appelé *ICI* ([Fougères, 2005](#)). Celui-ci débute par l'analyse de l'activité et aboutit au produit logiciel correspondant, accompagné de documents normalisés qui constituent la mémoire, la « trace détaillée » ([Micaëlli et Forest, 2003](#)) de leur conception.

Pour faciliter les interactions entre les différents acteurs impliqués par ces développements participatifs, nous avons conçu des outils basés sur des techniques du TAL. Dans ([Fougères, 2006](#)) nous avons proposé un premier processus d'identification assistée de μ -outils, partant de l'expression de besoins et permettant de produire des diagrammes sémantiques (orientés description fonctionnelle), de type actigrammes SADT. Pour l'illustrer, nous nous sommes appuyés sur un texte rédigé dans le cadre d'une analyse d'usage d'une machine-outil selon le modèle SACI⁹⁹ ([Rabardel, 2005](#)). Cette analyse permet de traduire une approche en termes d'activité, en une approche en termes conceptuels (concepts logiciels). Ainsi sujets, actions, objets, instruments et interactions, sont respectivement traduits en agents, méthodes, objets, systèmes et associations. Les actions¹⁰⁰ recensées sont considérées comme potentiellement instrumentables par des μ -outils. La figure 39 illustre le processus d'identification des μ -outils sur l'exemple de Rabardel. A partir du graphe résultat, les concepteurs et les futurs utilisateurs peuvent discuter de l'intérêt de

⁹⁹ Situations d'Activités Collectives Instrumentées. Ce modèle permet d'identifier les sujets, actions, objets, instruments et interactions, traduits respectivement en agents, méthodes, objets, systèmes, associations. Il a été proposé dans le cadre d'une théorie instrumentale : l'artefact (matériel ou symbolique) devient instrument lorsque l'acteur l'associe à un ou plusieurs schèmes d'utilisation et qu'il se l'approprie. Nous retrouvons ces éléments dans la théorie de l'activité présentée au § 5.1.1.5.

¹⁰⁰ Une fois recensée, il reste alors à identifier la modalité élémentaire de l'action : actionnelle (faire), interactionnelle (faire-faire), épistémique (faire-savoir), transactionnelle (faire-pouvoir), déontique (faire-devoir), volitives (faire-vouloir), illusoires (faire-croire) (Desclés et al. 1998).

développer ou non un μ -outil. Dans le cas présent, la discussion porterait sur l'instrumentation des tâches « Appuyer/Presser », « Serrer » et « Vérifier/Contrôler ».

En résumé, après avoir spécifié puis développé plusieurs séries de μ -outils, pour assister la conception collaborative, nous proposons de travailler sur la conception d'outils d'assistance au développement de μ -outils. L'activité de développement des μ -outils étant bien appréhendée (processus *IC*), nous avons pensé réutiliser le concept de μ -outil pour l'assister. Ainsi, un ensemble de μ -outils, utilisant des techniques du TAL, pourrait permettre à un collectif multi-métiers d'identifier, de concevoir et d'intégrer de nouveaux μ -outils.

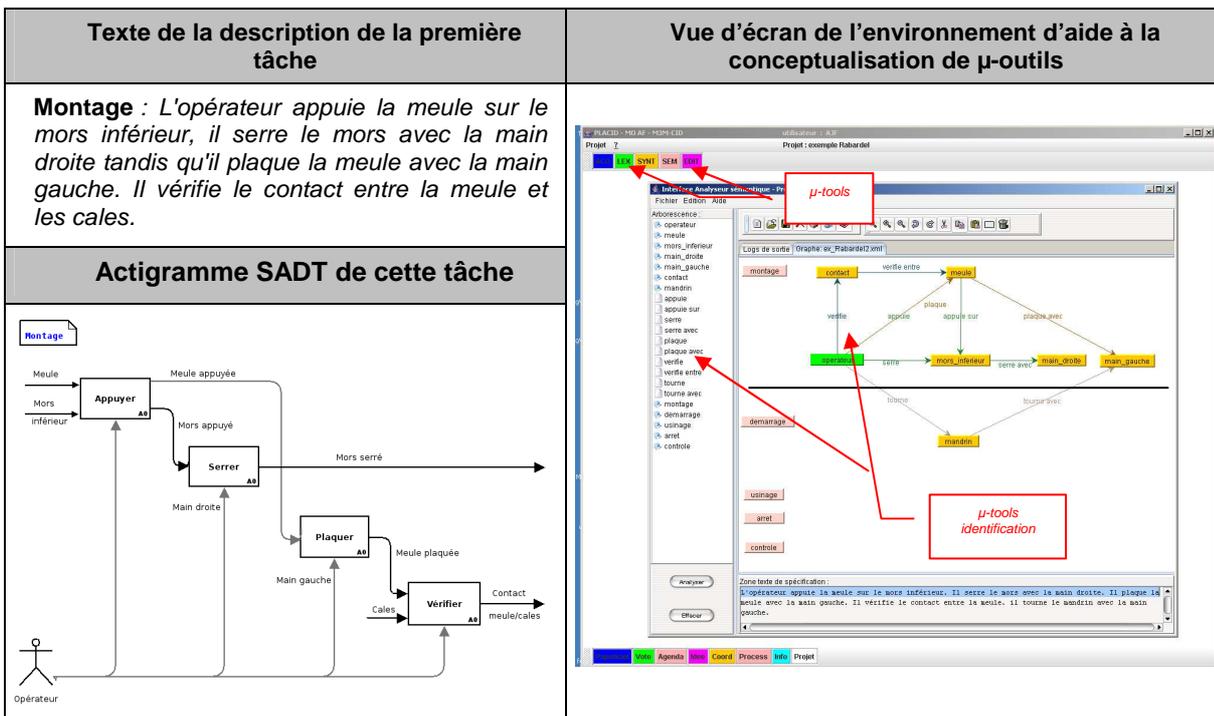


Figure 39. Résultat partiel de l'analyse d'une activité « Montage »

Le thème des connaissances dans les systèmes d'aide et/ou coopératifs

Les principaux résultats sur ce thème :

- la validation d'une approche type SBC pour la réalisation d'un STI pour la formation de régulateurs de trafic (Fougères, 2000 ; 2001) et l'aide à la décision pour la détection d'épidémies (Fougères, 2002 ; 2003) (deux prototypes ont été développés) ;
- la validation de l'approche modélisation de procédés coopératifs pour une assistance dans les EIAH coopératifs (Ospina et Fougères, 2005 ; Fougères et al., 2007) – les différentes versions de l'environnement *iPédagogique* ont été utilisées au département GI de l'UTBM sur la période 2001-07.
- la validation de l'approche connaissances à base de cas pour la médiation coopérative (Fougères et Ospina, 2004 ; Ospina et al., 2005 ; Ospina et Fougères, 2009).

Dans le chapitre 3, nous avons exposé les différents travaux menés autour du traitement des connaissances dans des systèmes d'assistance ou coopératifs. Nous avons illustré ces travaux avec deux applications : un système tutoriel de formation de régulateurs de trafic et un environnement pédagogique pour la gestion de projets d'étudiants. Les perspectives de

ce dernier travail, outre une meilleure maîtrise des activités coopératives liées à la pédagogie de projets, sont : (1) à court terme, l'enrichissement des connaissances et des compétences d'un système de médiation, pour accroître son champ d'activité, tant sur l'assistance pertinente de la coopération, lors des prises de décision collectives par exemple, que sur l'animation de celle-ci ; (2) à moyen terme, l'utilisation des connaissances acquises ou mises à jour lors d'activités coopératives instrumentées ; nous pensons notamment à l'utilisation des traces d'activité mémorisées qui ne peuvent que faciliter la réalisation des phases de synthèse d'une activité (évaluation, validation, rédaction de compte rendu d'activité, édition de dossier de spécifications, etc.) – ces traces d'activités doivent aussi pouvoir être intégrées dans une mémoire de projets (capitalisation de l'expérience projet et du savoir-faire coopératif), consultable en cours de projet ou à posteriori ; et (3) à plus long terme, l'intégration d'autres dimensions coopératives, comme celles de conscience de groupe et de partage de contexte. Des perspectives qui sont directement issues du travail de thèse de Jing Peng, appliquées à l'architecture et à l'intégration système.

7.2. Bilan sur le thème communication entre agents

Les principaux résultats sur ce thème :

- la validation d'un cadre générique de modélisation d'agents communicants (approche formelle avec les Réseaux de Pétri) ([Fougères, 2002](#) ; [2003b](#)) ;
- la validation du modèle de communication du type d'agents précédents ([Fougères, 2003a](#) ; [2003b](#) ; [Ostrosi et Fougères, 2009](#))
- la validation de la pertinence de l'échelle de Rasmussen et son augmentation pour différencier les comportements opératoires des agents logiciels communicants et coopérants selon la nature de leur activité ([Fougères, 2003](#) ; [Micaëlli et Fougères, 2007](#) ; [Ostrosi et Fougères, 2009](#) ; [Ospina et Fougères, 2009](#) ; [Fougères, 2010](#)).

Dans le chapitre 4, nous avons présenté nos travaux sur les SMA et la problématique de la communication dans les SMA, que ce soit entre les agents d'un SMA ou entre des utilisateurs d'un SMA et les agents qui le constituent (communication à multi-échelle, cf. Figure 40). Nous avons ensuite illustré ces travaux avec deux applications : un SMA de simulation-détection d'épidémie et un système de médiation à base d'agents. Les perspectives d'amélioration de la communication dans ce dernier système ([Ospina et Fougères, 2009a](#)) portent sur l'amélioration des interactions communicationnelles entre les acteurs coopérants et le médiateur. Ces travaux permettent d'aborder le niveau micro des interactions, à savoir les interactions internes au *Médiateur*. L'amélioration de ces dernières ne peut qu'avoir une répercussion positive sur le niveau macro des interactions du *Médiateur* (interactions externes). Une autre perspective porte sur la communication dans des systèmes comprenant plusieurs communautés d'agents, ce qui ajoute un troisième niveau d'interaction. C'est le cas, dans le système *APIC* que nous décrivons succinctement ci-dessous ; la communication y est *inter* et *intra*-communautaire ([Ostrosi et al., 2009](#) ; [Ostrosi et Fougères, 2009](#)).

Perspective développée : la communication et les interactions entre agents d'APIC

La principale motivation du développement de la plate-forme *APIC* est de fournir un outil d'assistance à la configuration de familles de produits, destiné à des concepteurs chargés de répondre aux besoins et aux exigences des clients, et à des experts métiers (fabrication,

assemblage, maintenance et qualité, entre autres). La configuration de familles de produit¹⁰¹ est un processus collaboratif et distribué. Les acteurs de la configuration accèdent à la plateforme *APIC*, en utilisant un μ -outil spécifique à leur domaine (μ -outil métier). Ces μ -outils communiquent avec la plate-forme grâce à un agent d'interface (*agent métier*). Dans *APIC*, tout élément de configuration est agentifié. Ainsi chaque spécification (caractéristique d'un produit), fonction, solution (composant d'un produit) et contrainte, est représentée par un agent. Les agents sont regroupés dans quatre communautés qui communiquent fortement entre elles et avec les agents métiers (figure 40) : (1) la communauté des agents <spécifications> ; (2) la communauté des agents <fonctions> ; (3) la communauté des agents <composants> ; et (4) la communauté des agents <contraintes> (Deciu et al., 2006).

Un des objectifs de la conception d'*APIC* était de valider l'hypothèse d'une génération de configurations d'un produit à partir de relations floues définies entre ses composants en vue de satisfaire un ensemble de spécifications floues et un ensemble de contraintes floues (Deciu, 2007). Les agents d'*APIC* ont alors été définis comme flous, dans le sens où, non seulement les données qu'ils traitent sont floues (connaissances floues), mais leurs comportements eux-mêmes sont flous. En effet, les interactions inter ou intra-communautaires sont pondérées par des valeurs floues, ce qui permet de les affaiblir, de les renforcer, voire de les inhiber (Ostrosi et Fougères, 2009).

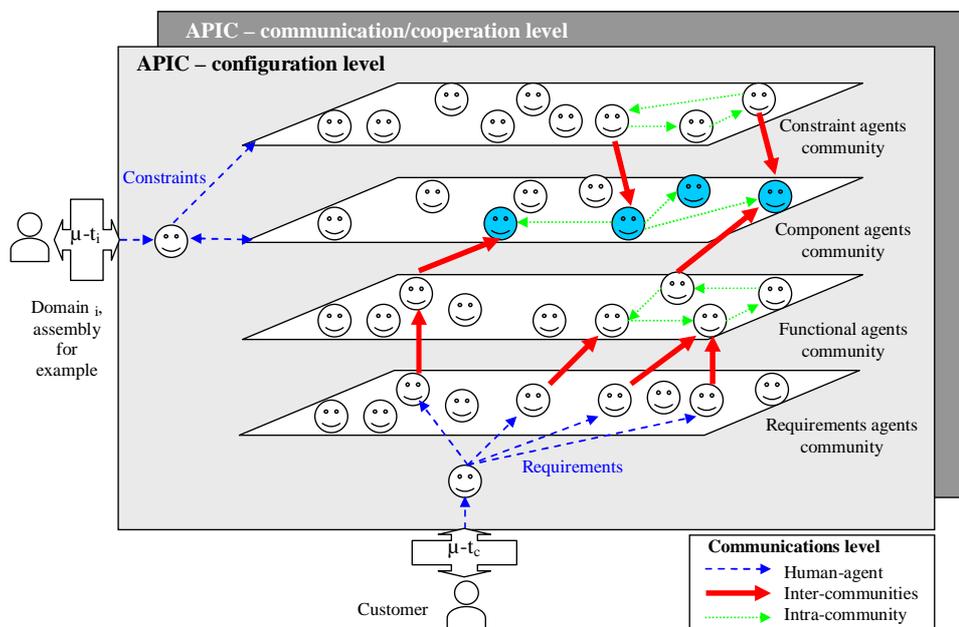


Figure 40. Architecture agent de la plate-forme *APIC*

Prenons l'exemple d'une configuration de chaises de bureau. A partir des spécifications fournies par le client, on obtient les valeurs fonctionnelles suivantes : $f1 = 0.8$, $f2 = 0.6$, $f3 = 0.3$, $f4 = 0.8$, où les agents <fonction> $f1$, $f2$, $f3$ et $f4$, représentent respectivement les fonctions : supporter le poids, supporter le dos, supporter les bras, permettre le mouvement des jambes (d'une personne). Ces valeurs vont modifier les interactions entre les agents <fonction>, mais aussi les interactions qu'ils entretiennent avec les agents <composant>. De plus, si des seuils sont définis, par exemple 0.5, le réseau fonctionnel qui émergera, ne comportera plus que les trois agents <fonction> $f1$, $f2$ et $f4$ ($f3 = 0.3$). Cet ajustement interactionnel, apparaîtra aussi lorsque les acteurs métiers fourniront leurs contraintes (partie supérieure de la figure 40). Lorsque le client et les métiers ont transmis leurs

¹⁰¹ Le problème de la configuration de produit peut être défini comme « un problème d'optimisation et d'arrangement d'un ensemble donné et fini d'objets ; dans une structure de produit, tout en respectant un ensemble donné de contraintes » (Deciu, 2007).

spécifications et contraintes, et que les quatre communautés sont redevenues stables, le réseau structurel fournit alors une solution active de configuration.

Les figures suivantes (figures 41.a et 41.b) représentent l'activité et le comportement des agents d'APIC. Chaque agent joue un rôle défini par ses compétences (spécification, fonction, composant de la solution ou contrainte d'un métier). La coordination des agents et l'auto-organisation des quatre communautés sont assurées par échange de messages. Ces échanges permettent effectivement un partage de connaissances, un ajustement mutuel des comportements des agents et l'émergence de réseaux d'affinités ; autant d'éléments qui participent à la production d'une solution optimale de configuration ([Ostrosi et al., 2009](#)).

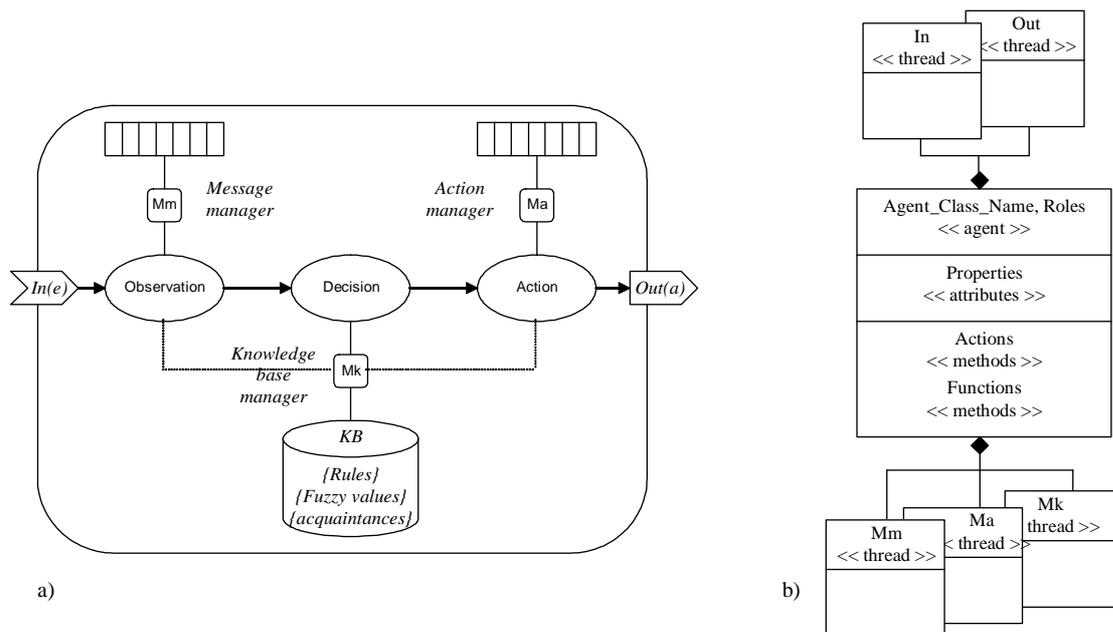


Figure 41. Modèle d'agent : a) architecture fonctionnelle, et b) structure UML

La figure 42 présente un scénario typique de configuration mettant en évidence le contexte communicationnel entre agents d'APIC. Considérons les premiers échanges. Un agent $\langle R_i \rangle$ transmet un message $M1$ de type T (la valeur floue qui le caractérise dans le réseau des requirements, par exemple) à un agent $\langle F_j \rangle$, puis, conformément au protocole de communication défini, attend un message d'acquiescement. Ce message d'acquiescement assurera à $\langle R_i \rangle$ que l'agent $\langle F_j \rangle$ a bien reçu le message $M1$ et a pu le traiter. De son côté, l'agent $\langle F_j \rangle$ consulte sa base de règles ECA. L'une d'entre elle comprend : l'événement « réception d'un message de type T », des conditions qui sont satisfaites (valeur $>$ seuil, par exemple), et une action « diffusion à l'ensemble de la communauté des fonctions ». L'agent $\langle F_j \rangle$ diffuse alors le message reçu, et lorsqu'il a reçu tous les acquiescements de son propre message, il peut envoyer l'acquiescement attendu par $\langle R_i \rangle$. Ainsi de suite ...

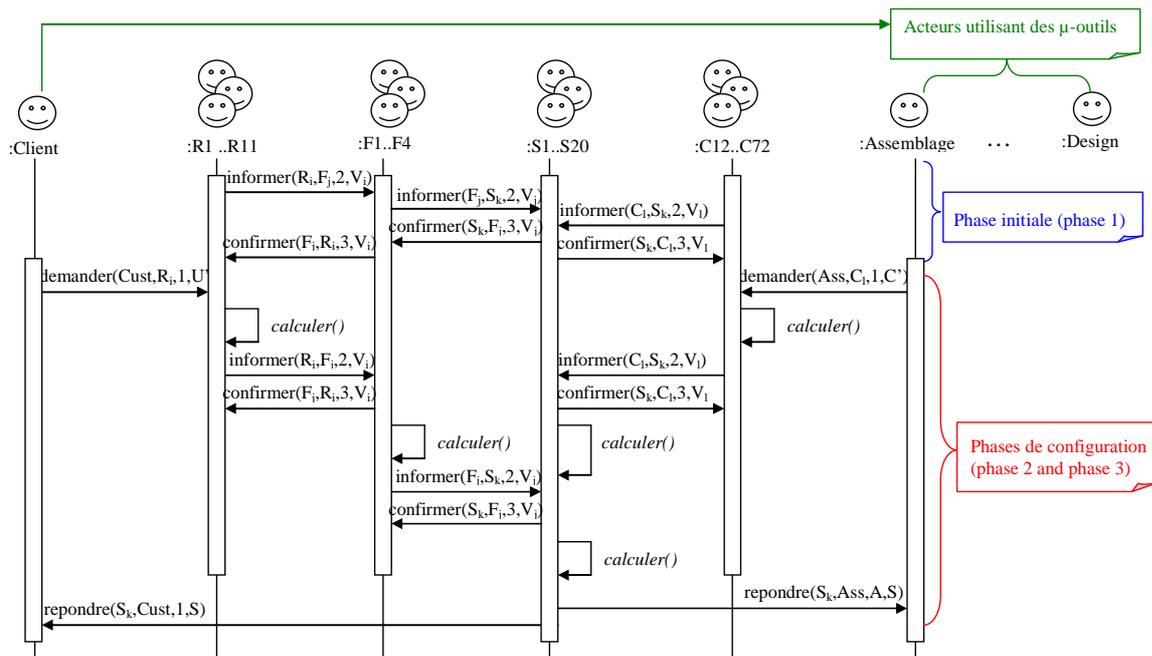


Figure 42. Scénario typique de configuration de produits avec la plate-forme APIC

Un agent d'APIC possède quatre types de connaissance : (1) des connaissances du domaine (valeurs floues de configuration structurées sous forme de vecteurs ou de matrices, et règles pour traiter ces informations), (2) des compétences fonctionnelles pour opérer sur les valeurs floues conformément aux trois phases de l'approche de configuration définie (la fonction *Min-Max*, par exemple), (3) des connaissances pour contrôler l'activité de l'agent, et (4) des connaissances pour interagir avec les autres agents (interactions inter ou intra-communautaires). Cette connaissance est constamment en évolution durant le processus de configuration, suivant les interactions entre agents et les interventions des acteurs impliqués dans la configuration (client, concepteurs, acteurs métiers de fabrication, de maintenance, de recyclage, d'installation, etc.). Pour Ghasem-Aghaee et Ören (2003), des agents flous sont des agents qui peuvent effectuer des raisonnements qualitatifs et incertains à partir de connaissances floues et incomplètes. De ce fait, les agents d'APIC sont à considérer comme des agents flous ; ils manipulent des connaissances floues et ils opèrent dans un environnement définis par des variables et contraintes floues de configuration.

Dans le cadre du projet APIC, nous avons aussi proposé un algorithme d'optimisation du réseau de solutions de configuration (algorithme distribué sur l'ensemble des agents <solution>). Cet algorithme est inspiré des algorithmes de routage adaptatif et réparti des réseaux informatiques. Plus précisément l'algorithme de « vecteur distance » qui utilise l'algorithme de Bellman-Ford (Cormen et al., 2001) pour le calcul des meilleurs chemins de routage. Ce type d'algorithmes permet une optimisation par échange d'informations de voisinage. Chaque nœud transmet à son voisin sa table de routage : (1) périodiquement, (2) à la demande d'un voisin, ou (3) dès qu'une modification est intervenue dans le réseau.

Nous avons adapté l'algorithme de la façon suivante : (1) les nœuds sont ici les agents <solution> ; (2) une solution de configuration correspond à un réseau de solutions comprenant un élément solution de chaque classe de composants (les solutions qui s'assemblent le mieux) ; (3) les voisins d'un agent <solution> (constituant son réseau d'affinités) sont les agents <solution> des classes adjacentes ; (4) les agents s'échangent leur réseau de solutions dès que celui-ci est modifié (amélioré) ; et (5) quand un agent reçoit un réseau de solutions il calcule l'amélioration potentielle de son réseau en activant une heuristique de composition entre son ancien réseau et celui qu'il vient de recevoir.

Pour faire converger l'algorithme, chaque agent solution doit mémoriser : (1) les valeurs floues d'affinités avec ses voisins (son réseau d'affinités), et (2) le réseau de solutions

optimal dont il fait partie (cf. réseau_{wi} dans la figure 43). Dès qu'un agent reçoit le réseau de solutions optimal d'un agent voisin (cf. $\text{recevoir}(\text{msg}(s_j, s_i, \text{RSO}, [\text{réseau}_{wj}, \text{VFO}_{vj}]))$ dans la figure 43), il recalcule la valeur floue d'affinité avec ce voisin et la valeur de fonction objective correspondant au réseau de solutions optimal reçu (cf. VFO_{vi} dans la figure 43). Si cette dernière valeur est supérieure à la valeur de sa propre fonction objective, ce qui signifie que le réseau de solutions optimal reçu est meilleur que celui qui était mémorisé, alors l'agent <solution> remplace son réseau de solutions optimal par celui qu'il vient de recevoir. Quand le réseau optimal d'un agent solution est modifié, il le transmet à tous les agents de son réseau d'affinité (cf. $\text{diffuser}(s_i, \{s_j\}, \text{RSO}, [\text{réseau}_{wi}, \text{VFO}_{vi}])$ dans la figure 43). Ceux-ci évaluent à leur tour si cette information leur permet d'améliorer ou non leur propre réseau optimal ; ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'amélioration possible.

POUR CHAQUE agent s_i FAIRE	
$s_i \in \text{Cl}_k, w \leftarrow \max(k)$	(classe de composants de s_i et nombre de classes)
$s_i \in \text{réseau}_{wi}$	(réseau de solutions optimal s_i)
$s_j \in \text{Cl}_{k-1} \cup \text{Cl}_{k+1}$	(s_j est un agent solution voisin de s_i)
$\text{VFO}_{vi} = S_{\text{consensuel}}[i]$	(valeur initiale de fonction objective de $s_i =$ indice i de $S_{\text{consensuel}}$)
$\text{diffuser}(s_i, \{s_j\}, \text{RSO}, [\text{réseau}_{wi}, \text{VFO}_{vi}])$	(s_i diffuse son réseau de solutions optimal à tous ses voisins)
TANT QUE (active(s_i))	
SI recevoir ($\text{msg}(s_j, s_i, \text{RSO}, [\text{réseau}_{wj}, \text{VFO}_{vj}])$)	(s_i reçoit de s_j un message de type Réseau de Solutions Optimal)
$\text{réseau}_{wi} \leftarrow \text{réseau}_{wj} \bullet \text{réseau}_{wi}$	(heuristique de composition de réseaux de solutions optimaux)
$\text{VFO}_{vi} = \sum_{x=1}^n s_x, (s_x \in \text{réseau}_{wi})$	(calcul de nouvelle fonction objective à partir du réseau précédent)
SI $s_i \in \text{réseau}_{wj} \wedge \text{VFO}_{vi} > \text{VFO}_{vi}$	(si la nouvelle fonction objective est supérieure à la précédente)
ALORS	
$\text{réseau}_{wi} \leftarrow \text{réseau}_{wi}$	(nouveau réseau de solutions optimal de s_i)
$\text{VFO}_{vi} \leftarrow \text{VFO}_{vi}$	(nouvelle fonction objective de s_i)
$\text{diffuser}(s_i, \{s_j\}, \text{RSO}, [\text{réseau}_{wi}, \text{VFO}_{vi}])$	(s_i diffuse son réseau de solutions optimal à tous ses voisins)
SINON	(received network is not better than last)
// Si s_i n'appartient pas au réseau reçu, il peut toutefois mémoriser le meilleur réseau reçu afin de connaître	
// le meilleur réseau de solutions optimal indépendamment de lui (nous ne développons pas cet aspect ici)	
FINSI	
FINTQ	
FIN FAIRE	

Figure 43. Algorithme d'optimisation mis en œuvre par les agents d'APIC.

7.3. Bilan sur le thème coopération dans les systèmes d'aide ou coopératifs

Les principaux résultats sur ce thème :

- la validation de la méthodologie *ICI* d'instrumentation participative d'activités collaboratives, à base de μ -outils ([Fougères et Micaëlli, 2006](#) ; [Weitè et al., 2006](#) ; [Micaëlli et Fougères, 07](#) ; [Chambon et al., 2009](#)) ;
- l'utilisation pédagogique des μ -outils produits au laboratoire M3M, notamment celui des « 9 écrans » de la méthode TRIZ à l'UTBM et à l'ECP ([Chambon et al., 2009](#)) ;
- la validation de l'approche MOC (micro-outils coopératifs) pour l'activité collaborative d'évaluation de performance ([Fougères et Micaëlli, 2006](#) ; [Micaëlli et](#)

- [Fougères, 2007](#)) ; ainsi que la définition du langage *PerfML* pour concevoir un système d'évaluation de performance ([Micaëlli et Fougères, 2007](#)) ;
- la validation de l'intégrabilité des μ -outils dans une plate-forme d'aide à la conception distribuée ([Fougères, 2004](#) ; [2005](#) ; [2010](#)) ;
 - la validation de l'approche agents flous pour l'expérimentation du processus de configuration collaborative de produits (émergence de réseaux d'affinités entre agents) et le développement de la plate-forme *APIC* ([Deciu et al., 2006](#) ; [Ostrosi et al., 2008](#) ; [Ostrosi et Fougères, 2009](#)) ;
 - le développement d'une plate-forme d'observation de la conception collaborative qui a permis de valider les indicateurs de collaboration proposés dans la thèse de Movahed-Khah ([Movahed-Khah, 2006](#) ; [Fougères et al., 2006](#)).

Dans le chapitre 5, nous avons présenté différents travaux menés autour de l'analyse des activités coopératives et de la conception de collecticiels ou de μ -outils coopératifs. Nous avons illustré ces travaux avec deux applications : la conception du système de gestion de projets d'étudiants dans *iPédagogique* et l'intégration de μ -outils d'évaluation de performance dans la plate-forme *PLACID*. Outre les actions de recherche définies sur les micro-outils collaboratifs que nous développons ci-dessous, les perspectives de nos travaux pour la médiation de la coopération portent sur quatre actions récentes, proposées dans le présent contrat quadriennal (2008-11) du laboratoire M3M, et dont les qualités d'originalité et de maturité ont été reconnues par l'évaluation du ministère¹⁰² :

- Le développement de la plate-forme *APIC* (*Agents for Product Integrated Configuration*) pour l'assistance à l'activité coopérative (multi-métiers) de configuration de gammes de produits et l'ouverture sur une problématique associée concernant l'assistance à l'établissement de consensus sur les solutions proposées à l'ensemble des acteurs.
- Le projet *ACCID* (*Aide à la Coopération en Conception Innovante et Distribuée*), ouvrant sur une collaboration avec l'UTT et l'UTC. Ce projet prévoit l'observation des actes de conception dans un environnement virtuel de conception collaborative, la modélisation de ces actes coopératifs et le développement d'outils d'aide. Le projet *ACCID* a été amorcé par un précédent projet portant sur l'analyse des interactions extraites d'un corpus de conception collaborative. De ce projet se dégage une problématique pour une meilleure appréhension des relations qu'entretiennent les actes de langage et les actes de conception coopérative (actes que nous envisageons de modéliser avec des GC du type : *[objet : *] ← (Action) ← [Acteurs : { *}]*). Il s'agit alors d'amorcer un travail spécifique sur ses relations dans le but de faciliter le travail de modélisation, en vue d'une instrumentation ([Deshayes, 2006](#)) par exemple ; nous rejoignons alors la problématique énoncée dans la section précédente sur l'aide à la conception à partir du LN.
- L'action « Collaboration dans l'activité d'architecture système » du projet A2P-Num (Architecte Process Produit dans un environnement collaboratif et Numérique), labellisé par le pôle de compétition « Véhicule du futur ». Cette action, prévue sur la période 2007-10, a démarré avec le co-encadrement de la thèse de Jing Peng, intitulée « La collaboration dans l'activité d'architecture système : concepts, modèles et application ». La problématique est : comment améliorer le partage de contexte de travail (*contexte-aware*) dans le but de faciliter le travail collaboratif d'architecture système ? Nous avons alors posé quatre hypothèses de travail : (H1) une modélisation de l'activité et du

¹⁰² Extrait du rapport d'évaluation : « L'équipe CID [...] développe des sujets sur les processus de conception collaborative, les μ -outils de conception et les aspects cognitifs de la conception, d'une manière très originale en France. L'équipe a maintenant atteint une grande maturité : dans l'explicitation de concepts et dans la production d'outils (avec des logiciels et des méthodes qui s'étoffent), dans l'intégration de méthodes de conception, et dans leur transfert industriel. L'équipe démontre ainsi une originalité, une qualité scientifique, ainsi qu'un dynamisme fort. »

contexte de travail corrélé, avec la Théorie de l'Activité ; (H2) une assistance à la fois prescrite (référence pour l'activité coopérative) et émergente, guidée par un workflow dynamique – assistance hybride si l'on se réfère à la dichotomie proposée par Salembier (2002) ; (H3) une modélisation du contexte (vision représentationnelle, orientation IC) et un suivi du contexte en situation coopérative (vision interactionnelle, orientation CSCW) – là aussi, une vision hybride du contexte si l'on se réfère à la dichotomie proposée par Dourish (2004) ; et (H4) la mesure de l'intérêt des informations à transmettre lors de l'évolution du contexte de travail comme évaluation de la pertinence du partage de contexte ; cette mesure peut s'appuyer sur les travaux de Shannon (1948) et de Dessalles (2005 ; 2008) sur la pertinence dans la communication. Pour valider ces hypothèses, nous avons planifié deux périodes d'expérimentation en contexte pédagogique. Il s'agit de la mise en place d'un environnement coopératif pour la réalisation de projets de fabrication et d'assemblage de moteurs hydrauliques (avec une attention particulière sur la gestion des exigences), par des groupes d'étudiants du département IMAP de l'UTBM. Les résultats de la première expérimentation (semestre de printemps 2009) nous ont permis de valider partiellement les trois premières hypothèses (Peng et al., 2010b) et de préparer dans les meilleures conditions la seconde expérimentation au semestre de printemps 2010. Les résultats de cette seconde expérimentation sont prometteurs et nous ont conduit à proposer aussitôt une amélioration de notre modèle de calcul dynamique de la pertinence des informations pouvant être transmises aux co-concepteurs (Peng et al., 2010a).

Perspective développée : la conception de μ -outils pour instrumenter des activités collaboratives

Le projet ANR « Développement de μ -outils » avait pour objectif de développer de nouveaux μ -outils, mais aussi celui de définir des métarègles relatives à leur détection à travers l'analyse d'un processus métier, et à leur stratégie de développement informatique. Trois actions de recherche ont été menées ces dernières années (2005-09), apportant leur lot de perspectives :

- Action 1 : *analyse du processus d'émergence d'un μ -outil*. Le but de cette analyse est de proposer des métarègles d'extraction de savoir-faire et de construction d'un μ -outil. L'expérience acquise lors des développements récents de μ -outils a permis d'élaborer un tel processus : l'analyse de l'activité, l'identification de μ -outils adaptés à la réalisation de tâches, la définition fonctionnelle des μ -outils, puis leur conception informatique. Une perspective séduisante apparaît dorénavant : proposer les *μ -outils comme instruments des nouvelles méthodologies de conception et d'innovation* (Deniaud et al., 2006b).
- Action 2 : *maîtrise des développements et du déploiement des μ -outils*. Dans le même esprit que l'action précédente, mais ici sur la partie développement du μ -outil. Deux aspects ont plus particulièrement été ciblés : (1) la conception liée aux usages des μ -outils (coopératif/individuel, synchrone/asynchrone), et (2) la réalisation du système interactif (IHM). Ces processus de développement (processus *ICI*, cf. § 5.1.2) doivent conduire à l'amélioration du déploiement des μ -outils sur une plate-forme coopérative ou sous forme de services web, orientés usages (Fougères, 2010).
- Action 3 : *médiation pour faciliter l'usage et la diffusion des μ -outils*. Même si par définition les μ -outils sont des outils simples d'utilisation, il ne nous est pas permis de faire d'hypothèses sur l'acuité de l'utilisateur effectif. Ainsi il nous semble indispensable d'accompagner les développements de μ -outils de possibilité d'assistance à l'utilisation, d'autant plus lorsque les μ -outils sont à usage coopératif (Ospina et Fougères, 2009a).

Les MOC proposent une médiatisation des interactions humaines dans l'activité coopérative : l'utilisateur au sein du groupe a besoin d'outils pour communiquer, négocier sa participation, suivre l'activité des autres, recevoir le feedback de ses propres actions ; et le groupe a besoin d'outils pour se co-construire, co-organiser (coordonner) son activité et

mutualiser les ressources et les productions. Actuellement, nous travaillons sur l'intégration de *MOC* à la plate-forme *APIC*. Chaque agence métier disposera alors d'un *MOC* pour interagir avec le système de configuration de produits ([Ostrosi et al., 2009](#)) ; à savoir communiquer des spécifications ou des contraintes au système, et collaborer avec les autres métiers pour converger vers une solution consensuelle.

Enfin, pour la poursuite de nos travaux, une perspective intéressante se dégage avec la généralisation du concept de μ -outil logiciel à d'autres activités collaboratives, distinctes selon leurs objets, leurs acteurs concrets, mais similaires selon les modalités et les outils d'assistance. Nul doute qu'une telle perspective ouvre des directions dans les domaines du génie logiciel et de l'ingénierie des connaissances. Pour le premier domaine, nous avons déjà évoqué des μ -outils orientés TAL (chapitre 2) ; pour le second, nous pensons dès à présent lancer une action de recherche sur la conception de μ -outils d'aide à la construction de mémoire de projets, de mémoire d'activités coopératives ou de mémoire d'expérimentations comportant de nombreux scénarios.

7.4. Bilan sur le thème conception de système de médiation

Principaux résultats sur ce thème :

- la validation du concept de système de médiation (*Médiateur*) pour faciliter la coopération instrumentée, dans le cadre de la thèse de Victoria Ospina ([Ospina et al., 2005](#) ; [Ospina, 2007](#) ; [Ospina et Fougères, 2007](#)) ;
- la proposition d'une méthodologie de conception de systèmes de médiation ([Ospina, 2007](#) ; [Ospina et Fougères, 2007](#) ; [2009a](#) ; [2009b](#)).

Dans le chapitre 6 nous avons exposé la proposition d'intégrer un système de médiation (ou *Médiateur*) dans les systèmes coopératifs pour faciliter la coopération entre leurs utilisateurs (thèse de Victoria Ospina, [2007](#)). Nous avons ensuite présenté la méthodologie de conception de ce type de système, expérimentée sur deux systèmes coopératifs *iPédagogique* et *MO-AFT*. Pour améliorer la pertinence de ces systèmes de médiation, nous proposons d'explorer trois pistes :

- Exploiter les traces d'activité mémorisées par le *Médiateur*, pour assister les utilisateurs de systèmes coopératifs dans les phases finales ou de synthèse de l'activité coopérative (rédaction de rapport d'activité, évaluation, prospective, etc.) ; des phases qui nous semblent bien trop peu instrumentées, et encore moins assistées.
- Evaluer et implémenter des possibilités de dialogue direct entre les acteurs et le *Médiateur*. Ce cadre expérimental nous permettrait d'étudier de nouvelles interactions possibles entre les acteurs. En effet, jusqu'à maintenant, nous ne proposons qu'une communication indirecte à travers le système coopératif.
- Poursuivre la modélisation et l'expérimentation des fonctionnalités spécifiques de coopération recensées dans le modèle des *5Co*. Nous pensons particulièrement à la vérification de la pertinence des communications du *Médiateur* dans des situations de coopération plus variées. Dans cette perspective, une étude plus approfondie sur la typologie des médiations pourrait mettre en évidence des situations de coopération à médier fort différentes. Il s'agit aussi d'anticiper de nouveaux modes de travail coopératif pour permettre au *Médiateur* de mieux les accompagner.

Pour améliorer le *Médiateur*, nous proposons aussi d'intégrer des éléments d'*awareness* notamment dans les situations de partage de connaissance entre les acteurs – cette proposition est appuyée par le travail de thèse de Jing Peng sur le partage de contexte coopératif. Ceci nous permettra notamment : (1) de mieux intégrer dans notre système de

médiation les phénomènes d'émergence associés à la co-production, et les phénomènes d'auto-organisation ; et (2) d'augmenter l'interaction entre le *Médiateur* et la communauté des acteurs, en amplifiant le champ d'action et d'intervention du *Médiateur*, tout en limitant les effets d'intrusions bien entendu, de façon à confirmer son rôle d'acteur de la coopération. Le *Médiateur*, facilitateur de la coopération, devient-il un partenaire de la coopération ? Nous avons du moins défendu son statut de « Système Acteur de la Coopération ». Au-delà de son rôle d'assistance, une nouvelle perspective s'offre à lui : devenir animateur pour faciliter la communication, arbitrer les conflits, gérer les discussions (vérifier que tous les acteurs participent, régulation de la prise de tour de parole par exemple) et la progression du travail.

7.5. Conclusion

Nous voici au terme de ce mémoire. Nous y avons retracé le cheminement qui nous a conduit progressivement à nous intéresser au problème de l'assistance à l'utilisateur de systèmes coopératifs (ou de collecticiels) et à proposer l'intégration de systèmes de médiation coopérative dans ce type de systèmes :

- nos premiers travaux ont porté sur l'assistance à la conception logicielle à partir de techniques du TAL et de l'IA ; cette assistance était proposée à un seul concepteur, il n'était pas encore pour nous question de penser cette assistance dans un contexte coopératif (groupe de concepteurs) ; en plus d'ouvrir la problématique d'assistance à un groupe de concepteurs, il nous apparaît pertinent d'orienter maintenant nos recherches sur les possibilités de co-construction diagrammatique (travail d'un couple concepteur-système coopérant), exploitant les connaissances et les capacités interactionnelles d'un système d'aide « intelligent » à la conceptualisation ;
- la modélisation de systèmes complexes à base d'agents et la nécessité de concevoir ces agents comme des entités fortement communicantes et coopérantes ; en multipliant les travaux dans ce domaine, nous avons établi une échelle des comportements des agents, variant selon la nature de l'activité réalisée par ceux-ci (figure 12) ; au-delà des modèles d'architectures d'agents proposés pour ces différents niveaux, il nous semble pertinent de travailler sur l'adaptation des modes de communication et de coopération à la variabilité des tâches que peuvent effectuer les agents (ces modes n'étant pas suffisamment étendus et malléables pour être optimaux selon le contexte coopératif) ;
- l'assistance à la coopération, notamment en co-conception de services et de produits, proposée selon deux axes : (1) la conception participative de collecticiels à partir d'une analyse fine de l'activité coopérative devant être instrumentée, et ce afin de faciliter au mieux la coopération entre les futurs utilisateurs de ces systèmes, et (2) l'intégration dans le collecticiel de deux types de capacités coopératives : la médiation coopérative (thèse de Victoria Ospina) et le partage de contexte de travail coopératif (thèse de Jing Peng) ; une nouvelle action de recherche orientée sur le calcul dynamique de la pertinence de l'assistance apportée à une activité instrumentée est indispensable pour : (1) renforcer la pertinence de l'assistance en fonction de l'évolution de l'activité, et (2) pouvoir proposer une assistance dynamique, répondant à la demande (ponctuelle ou continue) d'un acteur ou d'un groupe d'acteurs.

Depuis le début de nos travaux sur l'assistance à la coopération, nous avons été guidé par le modèle des *5Co* (cf. §5.1.1.3). S'il est évident qu'il reste encore beaucoup de questions ouvertes sur la mise en œuvre des différentes composantes de ce modèle, il nous apparaît maintenant nécessaire de poursuivre le travail sur celui de la co-mémorisation ; pas tant sur l'objet de la co-mémorisation (mémoire de projet, d'activité ou d'expérimentation), bien étudiée par ailleurs ([Matta, 2004](#)), mais bien plus centré sur l'activité elle-même et son assistance. L'exploitation des traces d'interaction des utilisateurs de collecticiels dans leurs activités coopératives (multiples, hétérogènes et multimodales) nous semble encore bien insuffisante pour garantir une profonde assistance, même si elles participent d'ores et déjà à

la construction d'« histoires interactionnelles » ([Djouad et al., 2010](#)). Le suivi, la motivation et la compréhension de l'activité coopérative par les acteurs y sont conditionnés ; la capitalisation du savoir-faire coopératif tout au long de l'activité et de l'ensemble des projets assistés est l'assurance de la reconnaissance du système comme un véritable partenaire de travail. L'artefact coopératif est un médiateur encore bien limité ...

CHAPITRE 8.

REFERENCES

- Aamodt A., Plaza E., (1994), « Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches », *AI Communications*, Vol. 7 (1).
- Abeillé A., Blache P., (2000), « Grammaires et analyseurs syntaxiques », in *Ingénierie des langues*, Jean-Marie Pierrel (Dir.), p. 51-76, Traité IC2, Hermes, Paris.
- Ackerman M.S., Starr B., (1995), « Social activity indicators: Interface components for CSCW systems », *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User Interface and Software Technology*, p. 159-168, Pittsburgh, Pennsylvania, ACM Press.
- Adla A., Soubie J.-L., Zarate P., (2007), « A cooperative intelligent decision support system for boilers combustion management based on a distributed architecture », *Journal of Decision Systems*, Editions Hermès, 16(2) : 241-263.
- AFCET, (1994), « Enquête sur la pratique de la collectique (groupware) en France », RE, Paris.
- Allen J.F., Byron D.K., Dzikovska M., Ferguson G., Galescu L., Stent A., (2001), « Towards conversational human-computer interaction », *AI Magazine*, 22(4): 27-37.
- Anderson J.R., (1983), *The architecture of cognition*, Cambridge, Harvard University Press.
- Antoine J.-Y., (2003), « Pour une ingénierie des langues plus linguistique », mémoire d'HDR, Université de Bretagne Sud.
- Aussenac-Gilles N., Biebow B., Szulman S., (2005), « Modélisation du domaine par une méthode fondée sur l'analyse de corpus », in *Ingénierie des connaissances*, R. Teulier, J. Charlet et P. Tchounikine, (Dir), L'Harmattan.
- Austin J., (1979), *Quand dire c'est Faire*, publié en 1962 sous le titre *How to do Things with Words*, Seuil, Coll. Points.
- BA, (2002), « IA et Médecine », *Bulletin de l'AFIA*, n°48, janvier.
- Bachimont B., (1996), « Herméneutique matérielle et artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser », Thèse de Doctorat de l'Ecole Polytechnique, 24 mai 1996.
- Bachimont B., (2004), « Arts et sciences du numérique : ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle », Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches de l'UTC, Compiègne.
- Baker M., (1994), « A model for negotiation in teaching-learning dialogues », *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 5(2): 199-254.
- Balzer R., (1985), « A 15 year Perspective on Automatic Programming », *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-11(11): 1257-1268.
- Bardram J., (1998), « Designing for the dynamics of cooperative work activities », *Proceedings of the ACM CSCW'98 conference*, ACM Press, p. 89-98.
- Barthès J.-P., Ramos M., (2002), « Agents assistants personnels dans les systèmes multi-agents mixtes », *TSI*, numéro spécial *Environnements de développement de systèmes multi-agents*, Hermes, Paris, 21(4) : 473-498.
- Bauer B., Odell J., (2005), « UML 2.0 and agents: how to build agent-based systems with the new UML standard », *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18: 141-157.

- BEH, (1999), « Note de la direction générale de la santé sur la transmission de données individuelles à l'autorité sanitaire », *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, n°47, 23 novembre.
- Benali K., Bourguin G., David B., Derycke A., Ferraris C., (2002), « Collaboration / Coopération », Actes des deuxièmes assises nationales du GdR I3, Nancy, 4-6 décembre.
- Bénard V., (2007), « Un système d'information pour la coopération au sein des réseaux de santé », Thèse de doctorat en Informatique de l'UTT, 12 octobre 2007.
- Bentahar J., Bouzoubaa K., Moulin B., (2006), « A Computational Framework for Human/Agent Communication Using Argumentation, Implicit Information, and Social Influence », *Proceedings of the 2006 IEEE/WIC/ACM international conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, p. 372-377.
- Bergenti F., Gleizes M.-P., Zambonelli F., (2004), *Methodologies and Software Engineering for Agent Systems*, Kluwer.
- Bergson H., (1938), *La pensée et le mouvant*, PUF, Paris.
- Betbeder M.-L., Tchounikine P., (2005), « Conception d'activités collectives dans un contexte d'apprentissage », in *Ingénierie des connaissances*, R. Teulier, J. Charlet et P. Tchounikine, (Dir), L'Harmattan, p. 437-458.
- Biebow B., Charnois T., Szulman S., (1996), « ISDN supplementary services specifications: from informality to knowledge representation », *Annales des Telecom*, n°51.
- Biswas P.K., (2008), « Towards an agent-oriented approach to conceptualization », *Applied Soft Computing*, 8(1): 127-139.
- Blanco É., Boujut J.-F., Degrave A., Charpentier P., Ris G., Bennis F., Martin F., Petiot J.-F., Deniaud S., Garro O., Micaëlli J.-P., (2002), « Une expérience de conception collaborative à distance; A distant collaborative design experiment d'apprentissage », *Mécanique & Industries*, 3(2) : 153-161.
- Bonabeau E., Theraulaz G., (1994), *Intelligence collective*, Hermes, Paris.
- Bond A.H., Gasser L., (1988), *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann, Palo Alto, CA.
- Bonnet P., (1999), « Prise en compte des sources de données indisponibles dans les systèmes de médiation », Thèse de Doctorat de l'Université de Savoie.
- Bordini R.H., Moreira A.F., (2004), « Proving BDI properties of agent-oriented programming languages: The asymmetry thesis principles in AgentSpeak(L) », *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 42(1-3): 197-226.
- Boughzala I., (2004), « SICI pour la gestion des connaissances : cas de l'entreprise étendue », in *Management des connaissances en entreprise*, Boughzala I., Ermine J.-L., (Ed.), Paris, Hermes.
- Boullier D., (2006), « Prises et emprises dans les systèmes d'aides homme-machine : pour une anthropologie de l'appropriation », *Intellectica*, 2(44) : 17-44.
- Bourguin G., (2000), « Un support informatique à l'activité coopérative fondé sur la Théorie de l'Activité :: le projet DARE », Thèse de l'Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Bourigault D., (2000), « Construction de ressources terminologiques », In J.-M. Pierrel, Coordinateur, *Ingénierie des langues*, Traité IC2, chapitre 9, Paris : Hermès.
- Bousmah M., Elkamoun N., Berraissoul A., Aqqal A., (2006), « Online method and environment for elaborate the project-based learning specifications in higher education », *Proc. of the 6th IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies (ICALT'06)*, Kerkrade, The Netherlands, July 5-7.
- Bouthier C., (2004), « Mise en contexte de la conscience de groupe : adaptation et visualisation », Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 13 septembre.
- Boy G., (Ed.), (2003), *Ingénierie cognitive. IHM et cognition*, Edition Hermes-Lavoisier, Paris.
- Brabant S., (1998), « Mais où est le 140 », in *Communications interactives dans les groupes de travail*, K. Kostulski et A. Trognon (Dir.), Collection Langage - Cognition – Interaction, Presses Universitaires de Nancy.
- Brassac C., (1994), « Speech acts and conversational sequencing », *Pragmatics and Cognition*, 2(1): 191-205.
- Brassac C., Trognon A., (1992), « Analyse de conversations et théorie des actes de langage », *Cahiers de la linguistique Française*, 13: 62-76, Genève, Suisse.

- Brassac C., de Ameida J., Grégori N., Saint-Dizier V., (1996), « La théorie des actes de langage en IAD : utilisations et limites », *Actes des JFIADSMA'96*, Editions Hermes.
- Brassac, C., Pesty, S., (1999), « Simuler la conversation : un défi pour les systèmes multi-agents », In *Analyse et Simulation de conversations: De la théorie des actes de discours aux systèmes multiagents*, B. Moulin, S. Delisle et B. Chaib-draa (Eds.), L'Interdisciplinaire de Lyon, p. 317-345.
- Bratitsis, T., Dimitracopoulou, A. (2008), « Interpretation Issues in Monitoring and Analyzing Group Interactions in Asynchronous Discussions », *International Journal of e-Collaboration*, IDEA Group Inc, 4(1): 20-40.
- Bresciani P., Perini A. et al., (2004), « Tropos: an agent-oriented software development methodology », *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 8(3): 203-236.
- Brezillon P.J., (2009), « Explaining for developing a shared context in collaborative design », in *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, April 22-24, Santiago, Chile, p. 72-77.
- Brooks F.P., (1988), « Grasping reality through illusion: interactive graphics serving science », *5th Conf. on Comp. and Human Interaction (CHI'88)*.
- Bruaux S, Kassel G, Morel G. (2007), « A Clarification of the ontological status of Knowledge Roles », In: *Proceedings of the workshop on Advances in Conceptual Knowledge Engineering*, DEXA 07, p. 529–33, Regensburg, Germany.
- Bruillard E., (1997), *Les machines à enseigner*, Editions Hermes, Paris.
- Bryant S.L., Forte A., et al., (2005), « Becoming wikipedian : transformation of participation in a collaborative online encyclopedia », in *Proceedings of the 2005 international ACM SIGGROUP conference on Supporting Group Work*, Sanibel Island, Florida, USA, ACM Press: 1-10.
- Buchanan B.G., Shortliffe E.H. (Ed), (1984), *Rule-Based Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading.
- Caelen J., Jambon F., Vidal A., (2005), « Conception participative : des "moments" à leur instrumentation », *Revue RIHM*, Europla éd., Paris, 6(2).
- Caelen J., Xuereb A., (2007), *Interaction et pragmatique. Jeux de dialogue et de langage*, Hermès.
- Canalda P., Chatonnay P., Fougères A.-J., (2002), « Pédagogie de projets tutorés basée sur la synchronisation de fragments de procédés coopératifs : motivation, modélisation et expérimentation », *Actes du Workshop ARIADNE*, Lyon, 13-15 novembre.
- Card S., Moran T., Newell A., (1983), *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum, New Jersey.
- Carroll J.M., (2000), *Making Use: Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions*, MIT Press.
- Carstensen P., Schmidt K., (1999), « Computer Supported Cooperative Work: New Challenges to Systems Design », in Kenji Itoh (Ed.), *Handbook of Human Factors*, Tokyo.
- Cernuzzi L., Cossentino M., Zambonelli F., (2005), « Process models for agent-based development », *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18(2): 205-222.
- Chambon T., Choulier D., Fougères A.-J., Weite P.-A., (2009), « Instrumentation de l'utilisation d'un outil méthodologique : application aux '9 écrans' de la méthode TRIZ », in *Actes du 11^{ème} colloque AIP-PRIMECA*, La Plagne, 22-24 avril.
- Charlet J., (2002), « L'ingénierie des connaissances. Développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales », Mémoire d'HDR, l'Université Pierre et Marie Curie.
- Charlet J., Zacklad M., Kassel G., (1998), « Dossier Ingénierie des Connaissances », in *Bulletin de l'AFIA*, n°34, pp. 18-21, Juillet.
- Charlet J., Reynaud C., Teulier R., (2001), « Ingénierie des connaissances pour les systèmes d'information », in *Ingénierie des systèmes d'information*, Corine Cauvet et Camille Rosenthal-Sabroux, (Dir), Hermes.
- Charton R., Boyer A., Charpillat F., (2003), « Learning of Mediation Strategies for Heterogeneous Agents Cooperation », In *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, (ICTAI 2003), Sacramento, California, USA, November 3-5.
- Chen K.J., Barthès J-P., (2007), « MemoPA: Intelligent Personal Assistant Agents with a Case Memory Mechanism », D.-S. Huang, L. Heutte, M. Loog (Eds.): ICIC 2007, LNAI 4682, pp. 1357–1367.
- Chen Y., Atwood M.E., (2007), « Context-Centered Design: Bridging the Gap Between Understanding

- and Designing », in *Human-Computer Interaction. Interaction Design and Usability*, Jacko (Ed), Springer Verlag Berlin Heidelberg, pp. 40-48.
- Chicoisne G., (2002), « Dialogue entre agents naturels et agents artificiels. Une application aux communautés virtuelles », Thèse de Doctorat de l'INPG, 11 décembre.
- Chomsky N., (1969), *Le langage et la pensée*, Editions Payot.
- Choulier D., (2008), *Comprendre l'activité de conception*, Presses de l'UTBM, Belfort.
- Church K.W., Hovy Z.H., (1993), « Good applications for crummy machine translation », *Machine Translation*, 8 :239-258.
- Clark H.H., Marshall, R. C., (1981), « Definite reference and mutual knowledge », in A.K. Joshi, B. Webber, & I. Sag (Eds.), *Elements of discourse understanding*, p.10-63, Cambridge: CUP.
- Clark H.H., Schaefer E.F., (1989), « Contributing to Discourse », *Cognitive Science*, 13: 259-294.
- Clark H.H., Brennan S., (1991), « Grounding in communication », in: Resnick, L. J. Levine and S. Teasley (Eds.) *Perspectives on Socially Shared Cognition*, APA Books, p. 127-149, Washington.
- Cluts M.M., (2003), « The evolution of artefacts in cooperative work: constructing meaning through activity », in *Proceedings of the 2003 international ACM SIGGROUP conference on Supporting Group Work*, Sanibel Island, Florida, USA, ACM Press: 144-152.
- Cohen P.R., Levesque H.J., (1990), « Intention is Choice with Commitment », *Artificial Intelligence*, 42: 213-261.
- Collins P., Shukla S., Redmiles D., (2002), « Activity Theory and System Design: A View from the Trenches », *Computer-Supported Cooperative Work*, 11(1-2): 55-80.
- Conklin E.J., Burgess-Yakemovic K.C., (1991), « Process-oriented approach to design rationale », in *Human-Computer Interaction*, 6(3-4), p.357-391.
- Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C., (2001), *Introduction to Algorithms*, Second Edition, MIT Press and McGraw-Hill, Section 24.1: The Bellman-Ford algorithm, pp.588-592.
- Courtois B., Silberztein M. (Eds), (1990), *Dictionnaires électroniques du français*. Langue française. Larousse: Paris.
- Coutaz J., Nigay L., (2001), « Architecture logicielle conceptuelle des systèmes interactifs », in *Analyse et conception de l'IHM*, sous la direction de Christophe Kolski, Hermes.
- Crozier M., Friedberg E., (1977), *L'acteur et le système*, Editions du Seuil.
- Darses F., (2005), « Contribution de l'ergonomie cognitive à la construction d'un modèle d'expertise des activités de conception de produits », in *Ingénierie des connaissances*, R. Teulier, J. Charlet et P. Tchounikine, (Dir), L'Harmattan, p. 289-412.
- Darses, F., Détienne, F., Falzon, P., Visser, W., (2001), « A Method for Analysing Collective Design Processes », Research report INRIA No. 4258, INRIA-Rocquencourt, Septembre.
- David B., (2001), « IHM pour les collecticiels », *Réseaux et systèmes répartis*, Hermes, novembre.
- David B., Tarpin-Bernard F., Vial C., (1996), « Ergonomie du travail coopératif en conception », ErgoIA'96.
- David M., (2004), « Définition d'un cadre pour l'organisation et l'évaluation des activités du travail coopératif », Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 14 décembre.
- Davis R., Smith R.G., (1983), « Negotiation as a metaphor for distributed problem solving », *Artificial Intelligence*, 20 : 63-109.
- Davis S., (Ed.), (1991), *Pragmatics, a Reader*, Oxford University Press.
- Deciu E.R., (2007), « Contributions à une démarche de conception pour la configuration des familles de produits », Thèse de Doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 4 octobre.
- Deciu E.R., Ostrosi E., Fougères A.-J., Ferney M., Gheorghe M. (2006), « Collaborative and distributed design for product configuration with assisting agents », *Proceedings of Virtual Concept 2006*, Springer Verlag, Playa Del Carmen, Mexico, november 26th-december 1st.
- Decortis F., Pavard B., (1994), « Communication et coopération : de la théorie des actes de langage à l'approche ethnométhodologique », in Pavard B. (Dir.), *Systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception*, Editions Octares, Toulouse.
- Decortis F., Noirfalise S., Saudelli B., (2000), « Activity theory, cognitive ergonomics and distributed cognition; three views of a transport company », *Int. J. Human Computer Studies*, 53: 5-33.

- Delisle S., Barker K., Copeck T. And Szpakowicz S., (1996), « Interactive Semantic Analysis of Technical Texts », *Computational Intelligence*, 12(2): 273-306.
- DeLoach S., Wood M., Sparkman C., (2001), « Multiagent systems engineering », *Int. J. of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 11(3): 231-258.
- Delotte O., David B., (2004), « Modélisation de tâches contextualisées pour la construction d'applications collaboratives », RJC-IHM'04, Lacanau, 20-22 octobre.
- Demazeau Y., (2001), « VOYELLES », Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches de l'INP Grenoble, Laboratoire Leibniz, Grenoble, France, Avril.
- Deniaud I., Micaëlli J.-P., Fougères A.-J., (2006a), « Déployer une performance en conception : l'exemple de la réactivité », In *Evaluation et décision dans le processus de conception*, B. Yannou et E. Bonjour (Dir.), Traité IC2, Hermes-France, p. 69-81.
- Deniaud I., Micaëlli J.-P., Deniaud S., (2006b), « Design and deployment of a manufacturing system performance: the reactivity case », *IMACS Multiconference on Computational Engineering in Systems Application*, (CESA), Beijing, China, October 4-6.
- Desclés J.-P., (1990), *Langages applicatifs, langues naturelles et cognition*, Hermès, Paris.
- Desclés J.-P., Flageul V., Kekenbosch Ch., Meunier J.-M., Richard J.-F., (1998), « Sémantique cognitive de l'action », *Langages*, 132 : 28-47.
- Deshayes P., (2006), « Les Chemins de l'intelligence à l'œuvre du travail de conception », in B. Yannou et P. Deshayes (Dir.), *Intelligence et Innovation en Conception de Produits et de Services*, L'Harmattan, p. 53-99.
- Despres C., (2001), « Modélisation et Conception d'un Environnement de Suivi Pédagogique Synchronique d'Activités d'Apprentissage à distance », Thèse de l'Université du Maine.
- Dessalles J.-L., (2005), « Vers une modélisation de l'intérêt », in A. Herzig & Y. Lespérance (Eds), *Actes des journées francophones Modèles Formels de l'Interaction*, Caen.
- Dessalles J.-L., (2008), *La pertinence et ses origines cognitives*, Hermes-Science, Paris.
- Dewhurst D.G., Macleod H.A., Norris T.A.M., (2000), « Independant student learning aided by computers: an acceptable alternative to lectures? », *Computers & Education*, 35: 223-241.
- Dey A.K., Salber D., Abowd G.D, (2001), « A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications », *Human-Computer Interaction*, 16: 97-166.
- Dieng-Kuntz R., Corby O., Gandon F., Giboin A., Golebiowska J., Matta N., Ribière M., (2001), *Méthodes et outils pour la gestion des connaissances. Une approche pluridisciplinaire du Knowledge Management*, Dunod, 2^e édition.
- Djouad T., Settouti L.S., Prié Y., Refay C., Mille A., (2010), « Un Système à Base de Traces pour la modélisation et l'élaboration d'indicateurs d'activités éducatives individuelles et collectives. Mise à l'épreuve sur Moodle », *TSI*, 29(6): 721-741.
- Dourish P., (2004), « What We Talk About When We Talk About Context », *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(1): 19-30.
- Dourish P., Bellotti V., (1992), « Awareness and coordination in shared workspaces », in Proceedings of the ACM CSCW'92, p. 107-114, Toronto, Ontario.
- Dreyfus S., Dreyfus H., (1986), *Mind Over Machine*, Free Press.
- Drogoul A., Collinot A., (1997), « Entre réductionnisme méthodologique et stratégie intentionnelle, l'éthologie, un modèle alternatif pour l'IAD ? », JFIADSMA'97, La Colle-sur-Loup, 2-4 avril.
- Du S., (2008), « On the use of natural language processing for automated conceptual data modeling », PhD Thesis, University of Pittsburgh, June 25th.
- Dumazeau C., (2005), « Favoriser l'établissement d'un contexte mutuellement partagé dans les communications distantes », Thèse du Conservatoire National des Arts et Métiers, 16 décembre.
- El Fallah-Seghrouchni A., (2001), « Modèles de coordination d'agents cognitifs », in *Principes et architecture des systèmes multi-agent*, J.-P. Briot et Y. Demazeau (Dir.), p. 139-176, Hermès.
- Ellis C.A., Gibbs S.J., Rein G.L., (1991), « Groupware: some issues and experiences », *Communications of ACM*, 34(1): 38-58.
- Ellis C.A., Wainer J., (1994), « A conceptual model of Groupware », In *Proceedings of CSCW'94*, ACM Press, p. 79-88.

- Enembrek F., Barthès J.-P., (2004), « MAIS – Un système multi-agents pour la recherche d'information sur le web », in *Fouille de textes et organisation des documents*, B. Rumpler et J.-M. Pinon (Eds.), Paris, Lavoisier, 8: 83-106.
- Engeström Y., (1987), *Learning by expanding: an activity-theoretical perspective*, Orienta-Konsultit, Helsinki.
- Engeström Y., Reigjo M., Raija-Leena P., (1999), *Perspectives on Activity Theory*, Cambridge University Press, NY.
- Enjalbert P., (2006), « Sémantique et traitement automatique du langage naturel : première approche », in *Sémantique et traitement automatique du langage naturel*, Patrice Enjalbert (Dir.), p. 27-52, Hermes.
- Enjalbert P., Victorri B., (2006), « Modélisation en sémantique », in *Compréhension des langues et interaction*, Gerard Sabah (Dir.), p. 71-111, Hermes.
- Ermine J.-L., (2003), *La gestion des connaissances*, Hermes, Paris.
- Ermine J.-L., Chaillot M., Bigeon P., Charreton B., Malaveille D., (1996), « MKSM, méthode pour la gestion des connaissances », *Ingénierie des Systèmes d'Information*, Hermès, 4(4) : 541-575.
- Fan X., Yen J., (2004), « Modelling and simulating human teamwork behaviours using intelligent agents », *Physics of Life Reviews*, 1(3): 173-201.
- Ferber J., (1997), « Les systèmes multi-agents : un aperçu général », *Technique et Science Informatiques*, 16(8) : 979-1012.
- Ferber J., Gutknecht O., (1998), « A meta-model for the analysis and design of organizations in multiagents systems », in Demazeau, Y. (Ed.), *ICMAS'98*, p. 128–135, Paris.
- Fillmore C.J., (1968), « The case for case », *Universals in Linguistic Theory*, E. Bach & R. Harms (Ed.), New York.
- Fodor J., (1983), *The Modularity of the Mind*, Cambridge, Mass, MIT Press.
- Forest J., (2007), « Artefact, les apports de l'approche simonienne », article inédit, mis en ligne.
- Fouche J.-J., Lepretre S., (1991), « ISW : un outil pour la méthode NIAM, ou passer du langage naturel à des spécifications non ambiguës », *Génie Logiciel & Systèmes Experts*, n°23.
- Fougères A.-J., (1997), « Aide à la rédaction de spécifications formelles à partir des spécifications rédigées en langage naturel. Application aux spécifications de services de France Télécom », Thèse de Doctorat de l'U.T.C., Compiègne, 13 mai.
- Fougères A.-J., (1999), « Formal specifications building from specifications written in natural language », *Proceedings of the European Conference Human Centered Processes*, (HCP'99), Brest, September 22-24.
- Fougères A.-J., (2000), « Un système tutoriel intelligent pour la formation des régulateurs de trafic d'une compagnie de transport en commun », *Actes du Colloque Multimodalité. 10 ans*, IMAG, Grenoble, 9-10 mai.
- Fougères A.-J., (2001), « Un système tutoriel intelligent adapté à la formation de régulateurs de trafic », in *Sciences et techniques éducatives*, Ed. Hermes, 8(1-2) : 141-147.
- Fougères A.-J., (2002), « Model of cognitive agents to simulate complex information systems », *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Hammamet, (SMC'02)*, Tunisia, October 6-9.
- Fougères A.-J., (2003a), « Des agents communicants pour simuler et détecter des épidémies », in *Ingénierie des Systèmes d'Information*, Ed. Hermes, 8(1), p.91-112.
- Fougères A.-J., (2003b), « Architecture cognitive d'agents intégrés dans des systèmes d'information complexes », *Actes des journées Méthodes Formelles de l'Interaction, MFI'03*, Lille, 20-22 mai.
- Fougères A.-J., (2004a), « Du langage naturel à la spécification - Application à la spécification de services de télécommunication », *Actes de la Conférence Internationale SETIT 2004*, Sousse, Tunisie, 15-20 mars.
- Fougères A.-J., (2004b), « Agents to cooperate in distributed design », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetic*, (SMC'04), The Hague, Netherlands, October 10-13.
- Fougères A.-J., (2005), « Agent-based micro-tools development for a co-operative design platform », *ITI 3rd International Conference on Information and Communication Technology*, (ICICT'05), Cairo, Egypt, December 5-6.

- Fougères A.-J., (2006), « Assistance to agent-based μ -tools development for a co-operative design platform », *Proceedings of Virtual Concept 2006*, Springer Verlag, Playa Del Carmen, Mexico, november 26th-december 1st.
- Fougères A.-J., (2010), « Agent-Based μ -Tools Integrated into a Co-Design Platform », *Int. Journal of Computer Science Issues*, 7(3-8):1-10, 31 May.
- Fougères A.-J., Canalda P., (2002), « iPédagogique : un environnement intégrant la gestion assistée de projets d'étudiants », *Colloque TICE 2002*, Lyon.
- Fougères A.-J., Canalda P., Ospina V., (2007), « Assistance à la gestion et au suivi de projets d'étudiants dans un environnement d'apprentissage coopératif », in *e-TI - la revue électronique des technologies d'information*, Numéro 3, 5 janvier.
- Fougères A.-J., Micaëlli J.-P., (2006), « De l'activité collaborative aux micro-outils : illustration avec PLACID, une plate-forme agent », *Actes de la Conférence nationale Coopération, Innovation et Technologie (CITE'2006)*, 26-28 juin, Nantes.
- Fougères A.-J., Ospina V., (2004), « Gestion et suivi de projets d'étudiants. Vers un système de médiation », *Colloque TICE 2004*, Compiègne.
- Fougères A.-J., Ospina V., (2005), « Médiation et connaissances coopératives dans un EIAH », Actes de l'atelier EIAH & EGC, EGC'05, Paris, 18 janvier.
- Fougères A.-J., Ostrosi E., Movahed-Khah R., Ferney M. (2006), « An intelligent system for the interactions analysis in a collaborative design process », *Proceedings of Virtual Concept 2006*, Springer Verlag, Playa Del Carmen, Mexico, november 26th-december 1st.
- Fougères A.-J., Recchione M., Gomez Y., (2004), « PLACID : une Plate-forme pour Coopérer en Conception Distribuée », in *Proceedings of IEEE Conférence Internationale SETIT'04*, Sousse, Tunisie, 15-20 mars.
- Fougères A.-J., Trigano P., (1997), « Rédaction de spécifications formelles : élaboration à partir de spécifications écrites en langage naturel », *Informations In Cognito*, 1(8): 29-36.
- Fougères A.-J., Trigano P., (1999), « Construction de spécifications formelles à partir des spécifications rédigées en langage naturel », in *Document Numérique*, Hermes, 3(3-4): 215-239.
- Frasson C., Mengelle T., Aimeur E., Gouardères G., (1996), « An Actor-Based Architecture for Intelligent Tutoring Systems », Third International Conference ITS'96, Montréal, Canada, LNCS 1086, 57-65.
- Fuks H., Barbosa Raposo A., Aurélio Gerosa M., de Lucena C.J.P., (2005), « Applying the 3C model to groupware development », *Int. J. Cooperative Inf. Syst*, 14(2-3) : 299-328.
- Garro O., (1996), « Conception distribuée – de l'industrie... à l'industrie », Actes *JFIADSMA'96*, Hermès, Port Camargue, 1-3 avril.
- Ghasem-Aghaee, N., Ören, T.I. (2003), « Towards Fuzzy Agents with Dynamic Personality for Human Behavior Simulation », in Proc. of SCSC 2003, Montreal, Canada, July 20-24, p. 3-10.
- George S., Leroux P., (2001), « Un environnement support de projets collectifs entre apprenants : SPLACH », *Sciences et techniques éducatives*, Hermes, 8(1-2) : 49-60.
- Ghiglione R., Matalon B., Bacri N., (1985), *Les direx analysés: l'analyse propositionnelle du discours*, Paris, PUF.
- Giraldo G., Reynaud C., (2002), « Vers l'automatisation de la construction de systèmes de médiation pour le commerce électronique », *Journées Scientifiques Web sémantique*, 10-11 octobre.
- Glaser N., (2002), *Conceptual Modelling of Multi-Agent Systems. The CoMoMAS Engineering Environment*, Kluwer Academic Publishers.
- Greenberg S., (2001), « Context as a Dynamic Construct », *HCI*, 16: 257-268.
- Grice H., (1975), « Logic and Conversation », In Cole and Morgan (Ed.), *Syntax and Semantics*, Vol. 3: Speech Acts, New York: Academic Press, p. 41-58.
- Grigori D., Charoy F., Godart C., (2004), « Co-Flow: a process technology to support cooperative processes », *Int. J. of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 14(1): 61-78.
- Grislin-Le Strugeon E., Adam E., Kolski C., (2001), « Agents intelligents en interaction Homme-Machine dans les systèmes d'information », in *Environnements évolués et évaluation de l'IHM. Interaction Homme-Machine dans les SI*, C. Kolski (Ed.), Editions Hermes, Paris, p. 209-249.
- Grosjean S., (2005), « Communautés virtuelles et communication médiatisée par ordinateur : une

- analyse des formes de ritualisation sociale », *Revue d'Interaction Homme-Machine*, 6(1): 109-131.
- Gruber T., (1993), « A translation approach to portable ontology specifications », *Knowledge Acquisition*, 5: 199-220.
- Grudin J., (1994), « Computer-Supported Cooperative Work: History and Focus », *IEEE Computer*, 27(5): 19-26, may.
- Gutwin C., Greenberg S., (1999), « The effects of workspace awareness support on the usability of real-time distributed groupware », *ACM Trans. on Computer-Human Interaction*, 6(3): 243-281.
- Habrias H., (1993), *Introduction à la spécification*, Masson.
- Halverson C.A., (2002), « Activity Theory and Distributed Cognition: Or What Does CSCW Need to DO with Theories ? », *Computer-Supported Cooperative Work*, 11(1-2): 243-267.
- Hannoun M., Boissier O., Sichman J.S., Sayettat C., (2000), « Moise : An organizational model for multi-agent systems », International Joint Conference IBERAMIA-SBIA, in M.C. Monard and J.S. Sichman, editors, *Advances in Artificial Intelligence*, vol. 1952 of LNAI, pages 156--165, Springer.
- Hayes-Roth F., Waterman D.A., Lenat D.B. (Eds), (1983), *Building Expert Systems*, Addison-Wesley.
- Hérin D., Espinasse B., Andonoff E., Hanachi C., (2001), « Des systèmes d'information coopératifs aux agents informationnels », in *Ingénierie des systèmes d'information* édité sous la direction de Corine Cauvet et Camille Rosenthal-Sabroux, Hermes.
- Hernert P., (1993), « Un système d'acquisition de définitions basé sur le modèle des graphes conceptuels », Thèse de l'Université Paris XIII - Institut Gallilée.
- Hewitt C., Bishop P., Steiger R., (1973), « A universal modular actor formalism for artificial intelligence », in *Proceedings of the 3rd IJCAI*, p. 235-245, Standford, CA.
- Hildreth P., Kimble C., (2002), « The duality of knowledge », *Information Research*, 8(1).
- Hoc J.-M., (2003), « Coopération humaine et systèmes coopératifs », in Guy Boy (Ed.), *Ingénierie Cognitive. IHM et cognition*, Editions Hermes, Paris, p. 139-187.
- Hollan J., Hutchins E., Kirsh D., (2000), « Distributed cognition: Toward a new foundation for human-computer interaction research », *ACM Trans. on Computer-Human Interaction*, 7(2): 174-196.
- Holvoet T., (1995), « Agents and Petri Nets », in O. Herzog, W. Reisig, and R. Valk, editors, *Petri Net Newsletters*3, number 49.
- Hoogstoel F., (1995), « Une approche organisationnelle du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur, application au Co-Learn », Thèse de doctorat en informatique, Université des sciences et technologies de Lille.
- Horrigue A.H., Choulier D., Boudouh T., (2006), « Knowledge sharing observation and modelling in distributed design teams », *International Design Conference (Design2006)*, Dubrovnik, May 15–18.
- Huget M.-P., (2001), « Une ingénierie des protocoles d'interaction pour les systèmes multi-agents », Thèse de doctorat en informatique, Université Paris IX – Dauphine, 15 juin.
- Huin L. Boulanger D., (2007), « An Agent-based Architecture to add Security in a Cooperative Information System », in *3rd International Conference on Signal-image Technology & Internet-Based Systems (SITIS'2007)*, Shanghai, China, December 16-19, pp. 262-271.
- Hutchins E., (1995), *Cognition in the wild*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Jarzabkowski P., (2003), « Strategic Practices: an activity theory perspective on continuity and change », *Journal of Management Studies*, 40(1): 23-55.
- Jéantet A., (1998), « Les objets intermédiaires de la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception », *Sociologie du travail*, p.291-316.
- Jennings N.R., (2000), « On agent-based software engineering », *AI*, 117(2): 277-296.
- Jennings N.R., Wooldridge M.J., (1998), « Applications of intelligent agents », in Springer-Verlag (Ed.), *Agent Technology: Foundations, Applications and Markets*.
- Jennings N.R., Sycara K., Wooldridge M., (1998), « A Roadmap of Agent Research and Development », *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1(1):7-38.
- Jennings N. R., Faratin P., Lomuscio A. R., Parsons S., Sierra C., Wooldridge M., (2001), « Automated Negotiation : Prospects, Methods and Challenges », *Int. Journal of Group Decision and Negotiation*, 10(2):199–215.
- Johansen R., (1991), « Groupware: Future Directions and Wild Cards », *Journal of Organizational*

- Computing*, 2(1): 219-227.
- Kamp H., (1981), « A theory of Truth and semantic Representation of language », in J. Groendijk, T Janssen and M. Stokhof (Eds), *Formal methods in the study*, University of Amsterdam, p. 272-322.
- Kaplan R. Bresnan J., (1982), « Lexical-Functional Grammar: a Formal System for Grammar Representation », *The mental Representation of Grammatical Relations*, J. Bresnan (Ed.), MIT press, p. 173-281.
- Kaplan R., Norton D., (1992), « The Balanced Scorecard: Measures that Drive Performance », *Harvard Business Review*, January-February, 71-79.
- Kaptelinin V., (1995), « Activity Theory: Implications for Human Computer Interaction », in Nardi *Context and Consciousness : Activity Theory and Human Computer Interaction*, Cambridge MIT Press.
- Kaptelinin V., Nardi B.A., (1997), « Activity Theory: Basic Concepts and Applications », *Conference on Computer Human Interaction (CHI'97)*, Tutorial.
- Kaptelinin V., (2003), « Learning with artefacts: integrating technologies into activities », *Interacting with Computers*, 15(6), p. 831-836, December.
- Karsenty, L., (2001), « Méthodes pour la création de mémoires de projet en conception », *Revue Française de Gestion Industrielle*, 20(1) : 35-51.
- Kayser D., (1997), *La représentation des connaissances*, Edition Hermes, Paris.
- Kirsch Pinheiro M., (2006), « Adaptation contextuelle et personnalisée de l'information de conscience de Groupe au sein des systèmes d'information coopératifs », Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier – Grenoble 1.
- Klusch M., (2001), « Information agent technology for the internet: a survey », *Data & Knowledge Engineering*, 36(3): 337-372.
- Köhler M., (2007), « A formal model of multi-agent organisations », *Fundamenta Informaticae*, 79(3-4): 415-430.
- Koning J.L., Pesty S., (2001), « Modèles de communication », in *Principes et architectures des systèmes multi-agents*, J.-P. Briot et Y. Demazeau (Eds.), Collection IC2, Hermes Science Publications, Paris.
- Korpela M., Mursu A., Soriyan H.A., (2002), « Information Systems Development as an Activity », *Computer-Supported Cooperative Work*, 11(1-2): 111-128.
- Kostulski K., Trognon A., (1998), *Communications interactives dans les groupes de travail*, Collection Langage-Cognition-Interaction, Presses Universitaires de Nancy.
- Kriaa H., Gouardères G., (2000), « Analyse et conception révisable par interaction entre acteurs : une approche hybride », Colloque international TICE2000, Troyes, Octobre.
- Kuutti, K., (1996), « Activity Theory as a Potential Framework for Human-Computer Interaction Research », in *Context and Consciousness. Activity Theory and Human-Computer Interaction*, Bonnie A. Nardi (Ed.), MIT Press, Cambridge, p. 17-44.
- Kuutti K., (1999), « Activity theory, transformation of work, and information system design », in *Perspectives on Activity Theory*, Y. Engeström, R. Miettinen and R.-L. Punamäkin (Eds.), Cambridge University Press, p.360-376.
- Labidi S., Lejouad W., (1993), « De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents », Rapport de recherche de l'INRIA, n°2004, août 1993 .
- Labrou Y., Finin T., Peng Y., (1999), « The current landscape of agent communication languages », *Intelligent Systems*, 14(2): 45-52, 1999.
- Lamel L., Rosset S., Gauvain J., Bennacef S., Garnier-Rizet M., Prouts B., (2000), « The LIMSI ARISE System », *Speech Communication*, vol. 31, n°4, p. 339-354.
- Lang S.Y.T, Dickinson J., Buchal R.O., (2002), « Cognitive factors in distributed design », *Computer in Industry*, 48(1): 89-98.
- Laporte E., (2000), « Mots et niveau lexical », in *Ingénierie des langues*, Jean-Marie Pierrel (Dir.), p. 25-50, Traité IC2, Hermes, Paris.
- Lauche K., (2005), « Collaboration Among Designers: Analysing an Activity for System Development », *Computer Supported Cooperative Work*, 14:253–282.

- Laurillau Y., (2002), « Conception et réalisation logicielles pour les collecticiels centrées sur l'activité de groupe : le modèle et la plate-forme Clover », Thèse de Docteur de l'Université Joseph Fourier – Grenoble 1.
- Leinonen P., Järvelä S., Häkkinen P., (2005), « Conceptualizing the Awareness of Collaboration: A Qualitative Study of a Global Virtual Team », *Computer Supported Cooperative Work*, 14: 301–322.
- Le Moigne J.-L., (1990), *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris.
- Leman S., Marsenac P., Giroux S., (1996), « Reconnaissance et modélisation du raisonnement d'un apprenant. Une approche multi-agents », 10e Congrès Reconnaissance des Formes en Intelligence Artificielle, RFIA'96, Rennes, janvier.
- Lemeunier T., (2000), « L'intentionnalité communicative dans le dialogue homme-machine en langue naturelle », Thèse de Doctorat de l'Université du Maine, 1^{er} décembre.
- Leontiev A.N., (1978), *Activity, Consciousness, Personality*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- Leplat J., (1994), « Collective activity in work: some ways of research », *Le travail Humain*, 57(3): 209-226.
- Leray D, Sansonnet J.-P., (2007) « Acquisition de connaissances perceptives pour un agent assistant », IC'2007, Grenoble.
- Leroux P., (2002), « Machines partenaires des apprenants et des enseignants. Etude dans le cadre d'environnements supports de projets pédagogiques », Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université du Maine, 20 décembre.
- Lewkowicz M., Zacklad M., (2001), « Une nouvelle forme de gestion des connaissances basées sur la structuration des interactions collectives », in *Ingénierie et capitalisation des Connaissances*, Manuel Zacklad et Michel Grundstein, (Dir), Hermes, p. 49-64.
- Lewkowicz M., Zacklad M., (2005), « Analyse cognitive des usages de Memo-net, collecticiel pour une gestion coopérative des connaissances », in *Ingénierie des Connaissances*, R. Teulier, J. Charlet et P. Tchounikine, (Dir), L'Harmattan, p. 345-366.
- Lonchamp J., (2003), *Le travail coopératif et ses technologies*, Editions Hermes, Paris.
- Loomis, T., (1987), « Software design issues for natural language processing », *Machine Translation*, 2(4): 219-230.
- Love T., (2002), « Constructing a coherent cross-disciplinary body of theory about designing and designs: some philosophical issues », *Design Studies*, 23(3): 345-361.
- Lucena C. J. P., Lucena M, Fuks H; Filippo D, (2006), « Extending Collaborative Learning Coordination Support in the AulaNet LMS using mobile devices », *Proceedings of m-ICTE 2006*, (2): 22-25.
- Luzzati D., (2006), « Dialogue et apprentissage », in *Compréhension des langues et interaction*, sous la direction de Gerard Sabah, p. 71-111, Hermes.
- MacLean A., Young R., Bellotti V.M., Moran P., (1996), « Questions, Options and Criteria : Elements of Design Space Analysis », in T.P. Moran & J.M. Caroll (Ed.), *Design Rationale : Concepts, Techniques and Use*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, Etats-Unis.
- Maggi B., Lagrange V., (2002), *Le travail collectif dans l'industrie à risque. Six points de vue de chercheurs étayés et discutés*, Octares Editions.
- Malone T.W., Crowston K., (1994), « The interdisciplinary study of coordination », *ACM Computing Surveys*, 26(1): 87-120.
- Malone T.W., Crowston K., Lee J., Pentland B., Dellarocas C., Wyner G., Quimby J., Osborn C.S., Bernstein A., Herman G., Klein M., O'Donnell E., (1999), « Tools for inventing organizations: Toward a handbook of organizational processes », *Management Science*, 45(3): 425-443.
- Mandiau R., Grislin-Le Strugeon E., Péniou A. (Eds.), (2002), *Organisation et applications de systèmes multi-agents*, Editions Hermes, Paris.
- Marik V., Mc Farlane D, (2005), « Industrial adoption of agent-based technologies », *IEEE Intelligent Systems*, 20(1): 27-35.
- Matta N., (2004), « Ingénierie des connaissances en conception pour la mémoire de projets », Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches de l'UTC, Compiègne.
- Matta N., Ribière M., Corby, (1999), « Définition d'un modèle de mémoire de projet », Rapport Technique INRIA n°3720, INRIA.

- Mbala A., Reffay C., Chanier T., (2003), « SIGFAD : un système multi-agents pour soutenir les utilisateurs en formation à distance », *Actes du colloque EIAH 2003*, Strasbourg.
- Meinadier J.-P., (2003), *Le métier d'ingénieur système*, Hermes-Lavoisier, Paris.
- Mélèse J., (1991), *L'analyse modulaire des systèmes*, Paris, Les Editions d'Organisation.
- Mendehilson P., (1995), « EIAO et psychologie cognitive », *STE*, 2(1) : 9-29.
- Micaëlli J.-P., Forest J., (2003), *Artificialisme : introduction à une théorie de la conception*. Lausanne (CH) : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Micaëlli J.-P., Fougères A.-J., (2007), *L'Évaluation créative*, Presses de l'UTBM, Belfort, avril.
- Mille A., Caplat G., Philippon M., (2006), « Faciliter les activités des utilisateurs d'environnements informatiques : quoi, quand, comment ? », *Intellectica*, 2(44): 121-143.
- Millot P., (2003), « Supervision et coopération homme-machine », In *Ingénierie cognitive*, Guy Boy (Dir.), Edition Hermes-Lavoisier, p. 35-70, Paris.
- Milton, N. R., (2007), *Knowledge Acquisition in Practice: A Step-by-step Guide*, London: Springer.
- Minsky M., (1975), « A framework for representing knowledge », in *The Psychology of Computer Vision*, P.E. Winston (Ed), MacGraw Hill.
- Mintzberg H., (1979), *The structuring of Organization*, Englewood Cliffs, NY, Prentice Hall.
- Moles A., (1986), *Théorie structurale de la communication et société*, Masson, Paris.
- Monostori L., Vancza J., Kumara S.R.T., (2006), « Agent-Based Systems for Manufacturing », *Annals of the CIRP*, 55(2): 697-720.
- Morand B., (2004), *Logique de la conception. Figures de sémiotique générale d'après C.S. Peirce*, Collection L'Ouverture Philosophique, Paris, L'Harmattan.
- Morin E., (1977), *La Méthode. 1. La nature de la nature*, tome I, Editions du Seuil, Paris.
- Morin E., Le Moigne J.-L., (1999), *L'intelligence de la complexité*, L'Harmattan, Paris.
- Movahedkhah R., (2006), « Contribution à l'analyse du processus de conception collaborative et distribuée, en vue du développement des systèmes multi-agents », Thèse de Doctorat de l'UTBM.
- Mugnier M.-L., Chein M., (1996), « Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes », *Revue d'intelligence artificielle*, 10(1) : 7-56.
- Mwanza D., (2001), « Where Theory meets Practice: A Case for an Activity Theory based Methodology to guide Computer System Design », *Proceedings of INTERACT'2001, Eighth IFIP TC 13 Conference on Human-Computer Interaction*, Tokyo, Japan, July 9-13.
- Nazarenko A., (2004), « Donner accès au contenu des documents textuels. Acquisition de connaissances et analyse de corpus spécialisés », Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches, Université Paris-Nord.
- Nazarenko A., (2006), « Le point sur l'état actuel des connaissances en traitement automatique des langues (TAL) », in *Compréhension des langues et interaction*, G. Sabah (Dir.), p. 31-70, Hermes.
- Neisser, U., (1976), *Cognition and reality: principles and implications of cognitive psychology*, Freeman.
- Newell A., (1982), « The Knowledge Level », *Artificial Intelligence*, 18: 87-127.
- Newell A., Simon H.A., (1972), *Human problem solving*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Nicolle A., (2006), « Compréhension et interaction », in *Compréhension des langues et interaction*, Gerard Sabah (Dir.), p. 141-169, Hermes.
- Nicolle A., Saint-Dizier de Almeida V., Beust P., Jacquet D., Brassac C., (2003), « Etude des processus d'interaction en conception distribuée », *Revue RIHM*, 4(2), p. 9-40.
- Noel F., Brissaud D., Tichkiewitch S., (2003), « Integrative design environment to improve collaboration between various experts », *Annals of the CIRP*, 52(1): 109-112.
- Nonaka I., Takeuchi H., (1995), *The Knowledge Creating Company*, NY: Oxford University Press.
- Nunamaker J.F., (1997), « Future research in group support systems: needs, some question as possible directions », *Human-Computer Studies*, 47: 357-385.
- Nwana H.S., (1996), « Software agents: an overview », *Knowledge Engineering Review*, 11(2): 205-244.

- Odell J., Parunak H.V.D., Bauer B., (2000), « Extending UML for agents », *Proceedings of the Agent-Oriented Information Systems Workshop at the 17th National conference on Artificial Intelligence*, Austin, Texas, July, 30.
- Olson G.M., Olson J.S., (1997), « Research on computer supported cooperative work », in M. Helander, T.K. Landauer and P. Prabhu (Eds.), *Handbook of Human-Computer Interaction*, p. 1433-1456, Amsterdam, Holland.
- O'Neill E., Johnson P., (2004), « Participatory task modelling: users developers modelling users'tasks and domains », in *Proceedings of the Third International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design (TAMODIA'04)*, Prague, Czech Republic, November 15-16.
- Ospina V.E., (2003), « Assistance dans les EIAH : une gestion assistée de projets d'étudiants », Rapport de DEA de l'Université de Technologie de Troyes, 4 septembre.
- Ospina V.E., (2007), « Vers une méthodologie de conception de système de médiation adaptée au travail coopératif », Thèse de Doctorat de l'Université de Technologie de Troyes, 19 décembre.
- Ospina V.E., Fougères A.-J., (2003), « Un système d'assistance dans un environnement coopératif d'apprentissage », *Actes du colloque CITE'03*, Troyes, 3-4 décembre.
- Ospina V.E., Fougères A.-J., Zacklad M., (2005), « Modélisation de connaissances pour un système de médiation », *Actes du Colloque EGC'05*, Paris, 19-21 janvier.
- Ospina V.E., Fougères A.-J., (2005), « Knowledge modelling for Mediation system based on cooperative task: an e-learning application », *ITI 3rd International Conference on Information and Communication Technology*, Cairo, Egypt, December 5-6.
- Ospina V.E., Fougères A.-J., (2007), « The mediator: an artificial actor integrated in a cooperative design system », *5th IEEE International Conference on Computational Cybernetics*, (ICCC 2007), Gammarth, Tunisia, October 19-21.
- Ospina V.E., Fougères A.-J., (2009a), « Aide à la conception collaborative. Un système de médiation pour l'usage de micro-outils logiciels », *Cahiers Romains de Sciences Cognitives*, 3(3) : 89-122.
- Ospina V., Fougères A.-J. (2009b), « Agent-based Mediation System to Facilitate Cooperation in Distributed Design », *WSEAS Transactions on Computers*, 6(8): 937-948.
- Ostrosi E, Fougères A.-J., Ferney M. (2008), « Fuzzy agents to assist collaborative and distributed design for product configuration », *Proceedings of the 5th International Conference on Digital Enterprise Technology*, (DET'2008), Nantes, October 22-24.
- Ostrosi E, Fougères A.-J., Ferney M., Klein D. (2009), « Distributed Fuzzy Product Configuration Using a Multi-Agent Approach », *Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, (INCOM '09), Moscow, Russia, June 3-5.
- Ostrosi E., Fougères A.-J., (2009), « Fuzzy Agents for Product Configuration in Collaborative and Distributed Design Process », *Applied Soft Computing*, (revised manuscrit 31-07-09).
- Ould Sidi M.M, Hammadi S., Hayat S. and Borne P., (2004), « Towards an interactive and effective regulation for the urban transport networks », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetic*, (SMC'04), The Hague, Netherlands, October 10-13.
- Ouzrout Y., Kabachi N., Vincent L., (1996), « Une société d'agents pour la prise de décision dans les organisations productives », *Actes des JFADSMA'96*, Editions Hermes.
- Over P., (1999), « TREC-7 Interactive Track Report », in *Voorhees and Buckland*.
- Padgham L. and Winikoff M., (2004), « The Prometheus methodology », in *Methodologies and Software Engineering for Agent Systems. The Agent-Oriented Software Engineering handbook*, F. Bergenti, M.-P. Gleizes and F. Zambonelli (Eds.), Kluwer Publishing: 217-234.
- Pahl G., Beitz W., (2003), *Engineering Design: a Systemic Approach*, 2^d Ed., Springer Verlag.
- Paige R.F., (1997), « Formal Method Integration via Heterogeneous Notations », PhD dissertation, University of Toronto.
- Paquette G., Pachat F., Giroux S., Girard J., (1996), « EpiTalk: Generating Advisor Agents for Existing Information Systems », *JAI in Education*, 7(3/4): 349-379.
- Paquette G., Tchounikine P., (2002), « Contribution à l'ingénierie des systèmes conseillers : une approche méthodologique fondée sur l'analyse du modèle de la tâche », *Sciences et Techniques Educatives*, 9(3-4) : 409-435.
- Paton N.W., (1999), *Active rules in database systems*, Springer.

- Pavard B., (Dir.), (1994), *Systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception*, Toulouse, Octarès Éditions.
- Peng J., Fougères A.-J., Deniaud S., Ferney M., (2010a), « Dynamic Shared Context Processing in an E-Collaborative Learning Environment », *Int. Journal of Computer Science Issues*, 7(5):1-10.
- Peng J., Fougères A.-J., Deniaud S., Ferney M., (2010b), « An E-Collaborative Learning Environment Based on Dynamic Workflow System », *Proceedings of the 9th Int. Conf. on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, pp.236-240, 29th April-1st May, Cappadocia, Turkey.
- Peraya D., Meunier J.-P., (1999), « Vers une sémiotique cognitive », *Informations In Cognito*, 1(14): 1-16.
- Perrin J., (1999), *Pilotage et évaluation des processus de conception*, L'Harmattan, Paris.
- Pesty S., (2004), « Interaction et émergence dans les systèmes multi-agents », Rapport d'habilitation à diriger des recherches, INPG Grenoble.
- Pesty S., Webber C., Balacheff N., (2001), « Baghera : une architecture multi-agents pour l'apprentissage humain », Rapport du Laboratoire Leibniz – IMAG.
- Piaget J., (1965), *Etudes sociologiques*, DROZ, Genève.
- Pierrel J.-M., (Dir.), (2000), *Ingénierie des langues*, Hermes, Paris.
- Pitrat J., (1992), « La symbiose entre l'intelligence artificielle et la science cognitive », *TSI*, 11(2) : 9-24.
- Potteck S., (2009), *Concevoir un système*, Edition Schemectif.
- Pottier B., (1987), *Théorie et analyse en linguistique*, Paris, Hachette.
- Pougès C., Jacquiau G., Pavard B., Gourbault F., Champion M., (1994), « Conception de collecticiels pour l'aide à la prise de décision en situation d'urgence : la nécessité d'une approche pluridisciplinaire et intégré », Pavard B. (Dir.), *Systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception*, Editions Octares, Toulouse.
- Prince V., (1996), *Vers Une Informatique Cognitive dans les Organisations : le rôle Central du Langage*, Editions Masson, Paris.
- Prudhomme G., Boujut J.-F., Pourroy F., (2005), « Activité de conception et instrumentation de la dynamique des connaissances locales », in *Ingénierie des connaissances*, R. Teulier, J. Charlet et P. Tchounikine, (Dir), L'Harmattan, p. 289-412.
- Quinqueton J., Hamadi Y., (1999), « Communication et Emergence : une épidémie chez les termites », Actes des JFIADSMA'99, Editions Hermes.
- Rabardel P., (2005), « Instrument, activité et développement du pouvoir d'agir », in *Entre connaissance et organisation : l'activité collective. L'entreprise face au défi de la connaissance*, Régine Teulier et Philippe Lorino (Dir.), Editions La Découverte, Paris.
- Ramadour P., Cauvet C., Espinasse B., (1999), « Cadre de référence pour l'ingénierie des S.I.P. », Contrat "Poseïdon", DIAM-IUSPIM - Région Provence Alpes Côte d'Azur, n°Diam/Poseidon-1999.
- Rao A.S., Georgeff M.P., (1995), « BDI agents: from theory to practice », in *Proceedings of ICMAS 95*, San Fransisco.
- Rasmussen J., (1983), « Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13: 257-266.
- Rasmussen J., (1987), « Cognitive engineering », in *Proceedings of IFIP Interac'87*.
- Renaud J., Chebel Morello B., Fuchs B., (2007), *Raisonnement à partir de cas. 1, conception et configuration de produits*. Paris : Hermes.
- Retoré C., (2008), « Les mathématiques de la linguistique computationnelle – 2^{ème} volet : Logique », *SMF Gazette*, 116 : 29-63.
- Rich C., Sidner C., Lesh N., (2001), « COLLAGEN: Applying collaborative discourse theory to human-computer interaction », *AI Magazine*, 22(4): 15-25.
- Richard J.-F., (2004), *Les activités mentales. De l'interprétation de l'information à l'action*, Armand Colin.
- Ripoche G., Sansonnet J.-P., (2006), « Experiences in automating the analysis of linguistic interactions for the study of distributed collectives », *Computer Supported Cooperative Work*, 15(2-3): 149-183.
- Rogalski J., (1994), « Formation aux activités collectives », *Le Travail Humain*, 57 : 425-443.

- Rose B., Gzara L., Lombard M., (2003), « Towards a formalization of collaboration entities to manage conflicts appearing in cooperative product design », *International CIRP Design Seminar*, Grenoble, France, May 12-14.
- Ross, D-T., (1977), « Structured Analysis: a Language for Communicating Ideas », *IEEE Transaction on Software Engineering*, 3(1): 15-34.
- Rosset S., Tribout D., Lamel L., (2008), « Multi-level Information and Automatic dialog Act Detection in Human-Human Spoken Dialogs », *Speech Communication*, 50(1): 1-13.
- Rousseaux F., (1995), « Contribution à une méthodologie d'acquisition des connaissances pour l'ingénierie des Systèmes d'Information et de Communication : l'exemple de CHEOPS pour l'aide à la gestion de crises collectives à caractère géopolitique », Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris 6.
- Rousseaux F., (2005), « Par delà les *Connaissances* inventées par les informaticiens : les *Collections* ? », *Intellectica*, 2-3(41-42) : 225-252.
- Rousseaux F., Lhoste K., (2008), « Towards a Collection-Based Knowledge Representation: Application to Geopolitical Risks and Crisis Management », *Proceedings of the Second International Conference on Digital Society, ICDS 2008*, pp. 81-87.
- Routier J.-C., Mathieu P., (2001), « Une contribution du multi-agent aux applications de travail coopératif », *Technique et science informatiques*, 14(4) : 473-500.
- Sabah G., (1997), « La langue et la communication homme-machine, état et avenir », in *Machine, Langage et Dialogue, L'Harmattan*, G. Sabah, J. Vivier, A. Vilnat, J.-M. Pierrel, L. Romary, A. Nicolle (Eds.), pp. 23-74.
- Sabah G., (2000), « Sens et traitements automatiques des langues », in *Ingénierie des langues*, Pierrel J.-M., (Dir.), p. 77-108, Hermes, Paris.
- Sabah G., (Dir.), (2006), *Compréhension des langues et interaction*, Traité IC2, Hermes-Lavoisier.
- Sacks H., Schegloff E., Jefferson G., (1974), « A simplest systematics for the organization of turn taking for conversation », *Language*, 50(4): 696-735.
- Sadek D., (1996), « Le dialogue homme-machine : de l'ergonomie des interfaces à l'agent intelligent dialoguant », in *Nouvelles interfaces homme-Machine*, Lavoisier Editeur, Paris. Série ARAGO, 18 : 277-321.
- Sadek D., (2004), « De nouvelles perspectives pour l'ergonomie des interactions personne-machine : dialogue naturel et agents intelligents », in actes de ErgoIA'04, Biarritz, 17-19 novembre.
- Saidane M., Giraudin J., (2002), « Des patrons pour l'ingénierie de la coopération des systèmes d'information ». *Ingénierie des Systèmes d'Information Networking and Information Systems*, 7(4).
- Salber D., (1995), « De l'interaction homme-machine individuelle aux systèmes multi-utilisateurs. L'exemple de la communication homme-homme médiatisée », Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Salembier P., (2002), « Cadres conceptuels et méthodologiques pour l'analyse, la modélisation et l'instrumentation des activités coopératives situées », *Revue SIM*, 2(7) : 37-56.
- Sato G.Y., (2008), « Contribution à la réalisation des outils pour la coordination de communautés de pratique distribuées », Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Compiègne, 24 juillet.
- Scapin D.L., (1990), « Organizing Human Factors Knowledge for the Evaluation and Design of Interfaces », *International Journal of Man-Machine Studies*, 2(3): 203-229.
- Schank RC, (1972), « Conceptual dependency: a theory of natural language understanding », *Cognitive Psychology*, 3: 552-631.
- Schmidt K., Simone C., (1996), « Coordination Mechanisms: Towards a Conceptual Foundation of CSCW Systems Design », *Computer Supported Cooperative Work: The journal of Collaboration Computing*, 5: 155-200.
- Schmidt, K., Bannon, L., (1992), « Taking CSCW seriously », *Computer Supported Cooperative Work Journal*, 1(1): 7-40.
- Schreiber G.H., Akkermans M., Anjewierden A., de Hoog R., Schadbolt N., van de Velde W. and Wielinga B., (2000), *Knowledge Engineering and Management. The CommonKADS Methodology*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Searle J.R., (1969), *Speech acts*, Cambridge University Press.

- Searle J.R., (1979), *Expression and Meaning*, Cambridge University Press.
- Searle J.R., Vanderveken D., (1985), *Foundations of illocutionary logic*, Cambridge University Press.
- Shakshuki E., Koo H.-H. et al., (2008), « A distributed multi-agent meeting scheduler », *Journal of Computer and System Sciences*, 74(2): 279-296.
- Shannon C.E., (1948), « A mathematical theory of communication », *The Bell System Technocal Journal*, vol.27.
- Shen W., Barthès J.-P., (1995), « Systèmes coopératifs pour la conception : état de l'art », 01 *DESIGN'95*, p. 47-61, Autrans, France.
- Shen W., Norrie D.H. Barthès J.-P., (2001), *Multi-Agent Systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing*, London, Taylor and Francis.
- Shoham Y., Powers R., Grenager T., (2007), « If multi-agent learning is the answer, what is the question? », *AI Journal*, 171(7): 365-377.
- Simon H.-A., (1969), *The sciences of the artificial*, Cambridge (MA): MIT Press.
- Smith G.J., Gero J.S., (2005), « What does an artificial design agent mean by being 'situated' ? », *Design Studies*, 26(5): 535-561.
- Soubie J.-L., Zaraté P., (Dir.), (2003), *Systèmes d'information coopératifs*, RSTI série ISI, 8(2).
- Sowa J. F., (1984), *Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA.
- Sperandio J.-C., (2003), « Ergonomie cognitive et modélisation de l'opérateur », in G. Boy (Ed.), *Ingénierie cognitive. IHM et cognition*, Chap. 2, Edition Hermes-Lavoisier, Paris.
- Sperber D., Wilson D., (1995), *Relevance, Communication and Cognition*, 2^{de} éd. Oxford: Blackwell.
- Spivey J. M., (1992), *The Z Notation, A reference Manual*, Prentice Hall.
- Suchman, L. A., (1987), *Plans and situated actions: The problem of human-machine communications*. Cambridge: CUP.
- Sudeikat J., Braubach L., (2005), « Evaluation of agent-oriented software methodologies. Examination of the gap between modelling and platform », *Agent-Oriented Software Engineering*, 5: 126-141.
- Sun J., Zhang Y.F., Nee A.Y.C, (2001), « A distributed multi-agent environment for product design and manufacturing planning », *Int. Journal of Production Research*, 39(4): 625-641.
- Tacla C.A., (2003), « De l'utilité des systèmes multi-agents pour l'acquisition des connaissances au fil de l'eau », Thèse de l'Université de Technologie de Compiègne.
- Tarpin-Bernard F., David B., (1999), « AMF : un modèle d'architecture multi-agents multi-facettes », *TSI*, Hermès, 18(5) : 555-586.
- Tassinari R., (1997), *Pratique de l'Analyse Fonctionnelle*, 2^e édition, Dunod, Paris.
- Taurisson N., Tchounikine P., (2006), « Cowos: A Model of Collective Work Situations to Support Modelling and Simulation Based Approaches of Work Organisation Learning » *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06)*, p. 383-387.
- Tchounikine P., (2002), « Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain », *Revue Information-Interaction-Intelligence*, Cépaduès Edition, 2(1).
- Terressac G. de, Friedberg E. (Ed.), (1996), *Coopération et conception*, Collection Travail, Editions Octares, Toulouse.
- Teulier R., (2007), « Routines, micro-pratiques et caractérisation des connaissances », WP, Centre de Recherche en Gestion, http://crg.polytechnique.fr/v2/fic/tictac_Teulier_SDC2006.pdf.
- Teulier R., Girard N., (2005), « Modéliser les connaissances pour l'action dans les organisation », in *Ingénierie des connaissances*, R. Teulier, J. Charlet, P. Tchounikine, (Dir), L'Harmattan p. 289-412.
- Teulier R., Charlet J., Tchounikine P., (Dir), (2005), *Ingénierie des connaissances*, L'Harmattan.
- Toussaint Y., (1992), « Méthodes informatiques et linguistiques pour l'aide à la spécification de logiciel », Thèse de Doctorat de l'Université Toulouse III.
- Trichet F., (1998), « DSTM: un environnement de modélisation et d'opérationnalisation de la démarche de résolution de problèmes d'un Système à Base de Connaissances », Thèse de Doctorat de l'université de Nantes, 26 novembre 1998.
- Tricot A., Pierre-Demarcy C., El Boussarghini, (2000), « Specific help devices for educational

- hypermedia », *Journal of Computer Assisted Learning*, 16(2): 102-113.
- Tweeddale J., Ichalkaranje N. et al., (2007), « Innovations in multi-agent systems », *Journal of Network and Computer Applications*, 30(3): 1089-1115.
- Vadera S., Meziane F., (1994), « From English to Formal Specifications », *The Computer Journal*, 37(9): 753-763.
- Vales S., (2002), « DuoCom concepts et outils de coordination inter-secteurs silencieuse », Mémoire de fin d'études, Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne, Toulouse, septembre 2002.
- Van Aart C., (2005), *Organizational Principles for Multi-Agent Architectures*, Birkhauser Verlag, Basel.
- Vanderveken D., (1990), *Meaning and speech acts, formal semantics of success and satisfaction*, (2 tomes), Cambridge: CUP.
- Van Handenhoven E., Trassaert P., (1999), « Design knowledge and design skills », *Proceedings of the International Conference on Engineering Design*, (ICED 99), Munich, Allemagne, 24-26 août.
- Vernant D., (2005), « Le paradigme actionnel en philosophie du langage », in *Entre connaissance et organisation : l'activité collective. L'entreprise face au défi de la connaissance*, R. Teulier et P. Lorino (Dir.), Editions La Découverte, Paris.
- Verrons M.-H., (2004), « GeNCA : un modèle général de négociation de contrats entre agents », Thèse de Doctorat de l'université des Sciences et Technologies de Lille, 2 novembre.
- Vieira R., Moreira A., Wooldridge M., Bordini R.H., (2007), « On the formal semantics of speech-act based communication in an agent-oriented programming language », *Journal of Artificial Intelligence Research*, 29: 221-267.
- Villemur T., (1995), « Vers l'automatisation de la construction de systèmes de médiation pour le commerce électronique », Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Vilnat A., (2005), « Dialogue et analyse de phrases », Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Sud, 15 décembre.
- Visetti Y.M., (1991), « Des systèmes experts aux systèmes à base de connaissances : à la recherche d'un nouveau schéma régulateur », *Intellectica*, 12(2) : 221-279.
- Visser W., (2001), « Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive », INRIA, R.R. n°4257, septembre.
- Visser W., (2006), *The Cognitive Artifacts of Designing*, Lawrence Erlbaum Associates (Ed.), Mahwah, New Jersey.
- Vivacqua A.S., Barthès J.-P., Moreira de Souza J., (2005), « Toward a model of cooperation », in H. Fuks, S. Lukosh, and A.C. Salgado (Eds) : CRIWG 2005, LNCS 3706, p. 359-366.
- Vogel C., (1988), *Génie Cognitif*, Masson, Paris.
- Vogel C., (1991), « Expression langagière de l'expertise : problèmes d'analyse », *Intellectica*, 12(2) : 65-100.
- Vygotski L.S., (1978), *Mind and Society*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Vygotski L.S., (1997), *Pensée & langage*, Traduction de Françoise Sève, La Dispute, Paris.
- Wagner G., (2003), « The Agent-Object-Relationship Metamodel: Towards a Unified View of State and Behavior », *Information Systems*, 28(5).
- Wainer J., Ellis C.A., (1998), « Agents in Groupware Systems ». CRIWG '98, Fourth International Workshop on Groupware, Búzios, Rio de Janeiro, Brazil, p. 157-1688, September 9-11.
- Weil-Barais A., (2005), *L'homme cognitif*, Quadrige, PUF, Paris.
- Weiss G., (1999), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, The MIT Press.
- Weité, P.-A., Fougères A.-J., Gazo C., (2006), « Les micro-outils, vecteur d'appropriation des nouvelles méthodologies de conception et d'innovation ». In *Evaluation et décision dans le processus de conception*, B. Yannou et E. Bonjour (Dir.), Traité IC2, Hermes-France, p. 135-149.
- Weng C., McDonald D.W., Sparks D., McCoy J., Gennari J.H., (2007), « Participatory design of a collaborative clinical trial protocol writing system », *Int. J. of Medical Informatics*, 76(1): 245-251.
- Wenger E., (1998), *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity*, Cambridge: CUP.
- Wenger E., McDermott, et al., (2002), *Cultivating communities of practice: a guide to managing*

- knowledge*, Boston, Harvard Business School Press.
- Wiederhold G., (1992), « Mediators in the architecture of future information systems », *IEEE Computer*, March 1992.
- Winograd T., (1988), « A Language/Action Perspective on the Design of Cooperative Work », *Human-Computer Interaction*, 3: 3-30.
- Winograd T., Flores F., (1986), *Understanding computers and cognition*, Addison Wesley, Reading.
- Wolfe C.R., (2001), *Learning and teaching on the World Wide Web*, San Diego, Academic Press.
- Wolton D., (1997), *Penser la communication*, Flammarion.
- Wooldridge M., (1997), « Agent-based Software Engineering », In *IEE Proceedings on Software Engineering*, 144(1), p. 26-37, February.
- Wooldridge M., (2002), *An introduction to multiagent systems*, John Wiley & Sons Limited: Chichester.
- Wooldridge M., (2000), Jennings N.R., Kinny D., « The GAIA methodology for agent-oriented analysis and design », in *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3(3): 285-312.
- Wright P., Lickorish A., (1994), « Menus and memory load: navigation strategies in interactive search tasks », *International Journal of Human-Computer Studies*, 40: 965-1008.
- Yacef K., (1999), « Vers un assistant tutoriel intelligent pour les systèmes complexes et dynamiques », Thèse de Doctorat de l'Université René Descartes – Paris V, 27 octobre.
- Yannou B., Deshayes P., (Dir.), (2006), *Intelligence et Innovation en Conception de Produits et de Services*, L'Harmattan.
- Ye Y., Boies S, Huang P.Y., Tsotsos J.K., (2001), « Agents-supported adaptive group awareness: smart distance and WWWaware », *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 31(5): 369-380.
- Yoshida S., Kamei K. et al., (2003), « Shine: a peer-to-peer based framework of network community support systems », *Computer Communications*, 26(11): 1199-1209.
- Zachary, W., Robertson, S. P., (1990), « Introduction to cognition, computation, and cooperation », In S. P. Robertson, W. Zachary & J. B. Black (Eds.), *Cognition, computing, and cooperation*, Norwood, New Jersey: Ablex Pub. Corp.
- Zacklad M., (2000), « Ingénierie des connaissances appliquées aux systèmes d'information pour la coopération et la gestion des connaissances », Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris 6, 15 septembre.
- Zacklad M., (2005), « Transactions communicationnelles symboliques et communauté d'action : une approche de la création de valeur dans les processus coopératifs », in *Entre connaissance et organisation : l'activité collective. L'entreprise face au défi de la connaissance*, R. Teulier et P. Lorino (Dir.), p. 285-305, Editions La Découverte, Paris.
- Zacklad M., (2006), « Documentarisation processes in Documents for Action (DofA): the status of annotations and associated cooperation technologies », in *Computer Supported Cooperative Work*, 15(2-3): 205-228.
- Zacklad M., (2007), « Une théorisation communicationnelle et documentaire des TIC », in *Humanités numériques 2 : socio-informatique et démocratie cognitive*, C. Brossaud et B. Reber (Eds.), p. 31-48, Lavoisier, Paris.
- Zacklad M., Grundstein M., (Eds), (2001), *Ingénierie et capitalisation des connaissances*, Hermes.
- Zambonelli F., Jennings N.R. et al., (2001), « Organizational abstractions in the analysis and design of multi-agent systems », *Proceedings of Agent-Oriented Software Engineering*, P. Ciancarini and M. Wooldridge (Eds.), Berlin, Springer, 1957: 235-251.
- Zargayouna M., (2007), « Modèle et langage de coordination pour les systèmes multi-agents ouverts. Application au problème du transport à la demande », Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Dauphine, 7 décembre.
- Zhang X., Lesser V., Wagner T., (2003), « Integrative negotiation in complex organizational agent systems », in *Proceedings of the IEEE/WIC International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'03)*, Halifax, Canada. October 13–17.
- Zouinar M., Salembier P., (2000), « Modélisation du contexte partagé pour l'analyse et la conception des environnements de travail coopératif », in J. Charlet, M. Zacklad, G. Kassel et D. Bourigault (Ed.), *Ingénierie des connaissances. Evolutions récentes et nouveaux défis*, Eyrolles, p. 529-542.

- Zue V., Glass J., (2000), « Conversational Interfaces: Advances and Challenges », *Proceedings of the IEEE, Special Issue on Spoken Language Processing*.
- Zweigenbaum P., Bouaud J., (1997), « Construction d'une représentation sémantique en Graphes Conceptuels à partir d'une analyse LFG », TALN'97, Grenoble.

CHAPITRE 9.

ANNEXE : RAPPORT D'ACTIVITE

9.1. Thématiques et équipes de recherche

Cette section décrit notre parcours de recherche depuis 1993, dans le domaine de l'Intelligence Artificielle dans un premier temps, puis à l'interface de l'Informatique Distribuée, du CSW et des Sciences de la Conception, ces dernières années.

Nous avons effectué nos travaux de thèse au CNET de Lannion, sous la direction de Philippe Trigano du Laboratoire Heudiasyc de l'UTC. La thèse intitulée « Aide à la rédaction de spécifications formelles à partir des spécifications rédigées en langage naturel. Application aux spécifications de services de France Télécom », a été soutenue le 17 mai 1997, devant le jury composé de MM. Christophe Fouqueré (Président), Michel Chein et Jean-Louis Ermine (Rapporteurs), Jean-Paul Barthès, Edmond Lassalle et Philippe Trigano (Examineurs).

Dans cette thèse (cf. §2.2), nous avons proposé un processus global de spécification formelle à partir de textes informels rédigés en langage naturel. Les perspectives de mise en œuvre de cette démarche de formalisation nous ont conduits à établir quatre hypothèses. On retiendra plus particulièrement la deuxième, qui postule l'utilisation d'une représentation intermédiaire pour passer de la spécification informelle à sa description formelle. Nous avons mis en évidence quatre niveaux de représentation d'une spécification : le texte source de la spécification écrite en LN, la représentation contenant les structures linguistiques des phrases du texte, la représentation sémantique sous forme de GC et la représentation finale dans un modèle de description formelle, tel que le langage Z. À partir de la première représentation en LN, nous avons défini un processus de formalisation dont les phases successives de traitement construisent les trois autres représentations de la spécification.

Parcours depuis la thèse (laboratoires de recherches et équipes spécifiques) :

- 1993-97 : membre du Laboratoire Heudiasyc de l'UTC, pendant notre Thèse et pendant notre première année d'ATER à l'IUT de Lannion, dans l'équipe « Langage Compréhension et Synthèse », dirigée par Philippe Trigano (Pr).
- 1997-98 : membre de l'IRISA, pendant notre deuxième année d'ATER à l'ENSSAT de Lannion, dans l'équipe Cordial « Communication multimodale personne-machine à composantes orales : méthodes et modèles », dirigée par Jacques Siroux (Pr).
- 1998-02 : membre du Laboratoire LaRIS de l'UTBM (devenu laboratoire SeT en 2000), durant nos quatre premières années d'ECC à l'UTBM, dans l'équipe SMA « Systèmes Multi-Agents », dirigée par Abder Koukam (Pr).

- 2003-10 : membre du Laboratoire M3M « Mécatronique 3M » de l'UTBM, dans l'équipe CID « Conception Innovante et Distribuée », dirigée par Michel Ferney (Pr) et pour laquelle nous animons l'axe « Coopération et Intégration ».
- Depuis février 2010 : membre du Laboratoire d'Informatique de Franche-Comté de l'UFC, dans l'équipe OMNI « Optimisation, Mobility, NetworkIng » dirigée par François Spies (Pr), et dans laquelle nous travaillons en qualité d'Ingénieur de Recherche sur des problématiques de transport à la demande (projet ANR Modulobus, notamment).

9.2. Activités scientifiques

9.2.1. Encadrements

Thèses

- Co-encadrement (90%) de la thèse de Victoria Ospina (soutenue le 19 décembre 2007), avec pour directeur de thèse, Manuel Zacklad (10%), directeur du laboratoire Tech-Cico de l'UTT. Cette thèse intitulée « Vers une méthodologie de conception de système de médiation adaptée au travail coopératif », a été financée pendant un an par une allocation de l'Université de Bogota puis par un contrat de recherche PRéCI (Pôle de Régional de Conception Innovante), géré par Egide. Mme Ospina a obtenu la qualification aux fonctions de Maître de Conférences, section 27, en 2008.

Problématique générale de la thèse : comment faciliter et/ou assister la coopération entre individus distants réalisant une activité commune supportée par un système ou une application coopérative ? La proposition principale de la thèse est d'intégrer dans le groupe d'acteurs coopérants un acteur artificiel jouant le rôle spécifique de Médiateur de la coopération. La conception de ce Médiateur, sous la forme d'un système de médiation, est orientée agent. Les contributions de la thèse portent (1) sur la définition de cet acteur (système de médiation), (2) sur les caractéristiques de la coopération qu'il peut médier, (3) sur ses compétences propres, (4) sur des propositions d'éléments méthodologiques permettant de concevoir un tel système de médiation, afin de généraliser la démarche mise en œuvre sur deux applications expérimentales, à d'autres applications coopératives.

- Co-encadrement (40%) de la thèse de Jing Peng (depuis octobre 2007 ; soutenance prévue en décembre 2010) avec Samuel Deniaud (CID-M3M, 30%) et Michel Ferney (directeur de thèse, CID-M3M, 30%). Cette thèse intitulée « La collaboration dans l'activité d'architecture système : concepts, modèles et application », est financée par une allocation de recherche MESR.

Problématique générale de la thèse : comment améliorer le travail collaboratif d'architecture système dans le secteur automobile (notamment en renforçant le partage de contexte d'architecture) ? Cette activité se situe en amont du cycle en V de l'ingénierie système ; elle est indispensable pour la conception de produits multi-physiques. Nous nous sommes alors intéressés à différents domaines (CSCW, sciences cognitives, ergonomie), afin de mieux caractériser la notion de partage de contexte de travail. Le modèle issu de cette étude est un modèle générique. Nous devons donc le spécialiser en tenant compte des caractéristiques de l'activité des architectes systèmes. La validation du modèle est réalisée en deux phases expérimentales successives, reliées à des activités pédagogiques de projets d'étudiants du département IMAP de l'UTBM. Le système de partage de contexte est interfacé à un workflow dynamique qui guide le travail collaboratif des architectes et leur révèle l'état de l'activité en cours et les informations pertinentes et individualisées à partager.

DEA, DESS et Masters (encadrés au laboratoire M3M)

- Victoria Eugenia Ospina : « Assistance dans les EIAH : une gestion assistée de projets d'étudiants », DEA RACOR de l'UTT, Option : CSCW et conception coopérative, mémoire soutenu le 4 septembre 2003.
- Cyrille Joyant : « KM & Base de Connaissances », DESS Innov-Acteur de l'UTBM, mémoire soutenu le 23 septembre 2004.

Mémoires d'Ingénieur CNAM (encadrés au laboratoire M3M)

- Cédric Dufourg : « Conception et développement de la nouvelle plate-forme APIC », mémoire réalisé dans le cadre du projet *APIC*, soutenu le 23 septembre 2010.
- Thierry Chambon : « Conception d'un micro-outil 9 écrans », mémoire réalisé dans le cadre du projet *Développement des micro-outils*, soutenu le 10 juillet 2009.
- Edmond Cordier : « Mise en place d'une démarche qualité logiciel », mémoire réalisé dans le cadre du projet *PLACID*, soutenu le 20 décembre 2005.
- Max Recchione : « Etude et développement d'un système d'information coopératif orienté agent », mémoire réalisé pour le projet *PLACID*, soutenu le 17 décembre 2004.
- Jean-Marie Clerc : « Etude et développement de micro-outils d'analyse fonctionnelle », mémoire réalisé dans le cadre du projet *Développement des micro-outils*, soutenu le 17 décembre 2004.

Stages d'Ingénieur UTBM (encadrés au laboratoire M3M)

- Stéphane Doussot : « Conception de services web pour des activités collectives d'évaluation de performance », stage réalisé dans le cadre du projet *MO-Web*, 2007.
- Nicolas Laubert : « Conception de micro-outils d'aide au déploiement de la méthode TRIZ », stage réalisé dans le cadre du projet *Développement de micro-outils*, 2005.
- Guillaume Giroud : « Réalisation de micro-outils d'aide à l'évaluation de performance », stage réalisé dans le cadre du projet *Développement de micro-outils*, 2004.
- Jean-Michel Contet : « Réalisation de micro-outils d'aide à la mise en œuvre de la méthode TRIZ », stage réalisé dans le cadre du projet *Développement de micro-outils*, 2004.

Autres encadrements (en laboratoire)

- Didier Assossou, CDD d'Ingénieur d'étude au laboratoire M3M, pour le projet *Valusys web*, financé sur Contrat ANR, sur la période mai-juillet 2007.
- Reza Movahed-Khah, Post Doc au laboratoire M3M : « Etude du développement des μ -outils sous forme de services Web », pour le projet *Développement de micro-outils*, financé sur Contrat PRéCI, sur la période mai-juillet 2006.
- Mathieu Taberlet : « Développement de la plateforme iPédagogique », stage réalisé au laboratoire SeT sur le projet *iPédagogique* en partenariat avec le CIP-UTBM, 2001.

9.2.2. Animation

Animation de groupe de recherches, organisation de séminaire ou colloque

- Animateur du thème « Coopération et intégration » de l'équipe CID (Conception Innovante et Distribuée) (2003-10). Ce thème est l'un des trois thèmes développés par l'équipe CID. Il fédère l'activité de cinq chercheurs permanents sur des problématiques d'aide à coopération et d'intégration multi-métiers en conception distribuée.

- Coordinateur pour l'équipe CID, dans le cadre de ma mission contractuelle à l'UTBM (2003-07) des activités de transfert (cf. §3.5). Coordinateur de l'équipe CID pour la rédaction du contrat quadriennal 2008-11 du laboratoire M3M.
- Membre des comités de programme de :
 - *l'International Symposium on Social and Organizational Informatics and Cybernetics* (depuis 2005 : SOIC'05 .. SOIC'10), organisé annuellement à Orlando (Floride) ;
 - *l'International Symposium on Engineering Education and Educational Technologies* (EEET'09), Orlando (Floride), July 10th - 13th, 2009.
- Conférence invité à VC'06 (Virtual Concept 2006) ; conférence qui s'est déroulée à Playa Del Carmen – Mexique, 26 novembre - 1er décembre, 2006 : « Assistance to Agent-Based μ -Tools Development for a Co-operative Design Platform ».
- Membre du comité d'organisation du séminaire « La sécurité dans les transports terrestres », Laboratoire SeT/Maison du Temps et de la Mobilité, Belfort, le 23 mai 2002.

Participation à des jurys de thèse

Statut	Doctorant	Université	Titre de la thèse	Date
Examineur (co-encadrant)	Victoria Ospina	UTT	<i>Vers une méthodologie de conception de système de médiation adaptée au travail coopératif</i>	19/12/07
Examineur	Gilson Yukio Sato	UTC	<i>Contribution à la réalisation des outils pour la coordination de communautés de pratique distribuées</i>	24/07/08

Evaluations et expertises

- Evalueur pour les revues internationales :
 - IC AE (*Integrated Computer-Aided Engineering*), IOS Press, depuis 2006 ;
 - JEIC (*Journal of Education, Informatics and Cybernetics*), depuis 2007 ;
 - IJNS (*International Journal of Neural Systems*), World Scientific Publishing, depuis 2009.
- Evalueur pour les conférences internationales :
 - EISTA (*Education and Information Systems: Technologies and Applications*), SOIC (*Social and Organizational Informatics and Cybernetics*) et EEET (*Engineering Education and Educational Technologies*), organisées dans le cadre des IMSCI (*International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics*) – Orlando (Floride), depuis 2005 ;
 - ICETI (*International Conference on Education, Training and Informatics*) et ICSIT (*International Conference on Society and Information Technologies*) – Orlando (Floride), April 6th - 9th, 2010 – Orlando, Florida, USA ;
 - CIE39 (*39th International Conference on Computers & Industrial Engineering*), UTT, Troyes, July 6-8, 2009.
 - INCOM'09 (*13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*), Moscow, June 3-5, 2009.

Autres activités

- Membre de l'IIS (*International Institute of Informatics and Systemics*), de l'AFIA (*Association Française pour l'Intelligence Artificielle*) avec notamment la participation à la

rédaction du bulletin n° 48 spécial « IA et Santé » en janvier 2002, et de l'ASTI (*Association Sciences et Technologies de l'Information*).

- Intervenant de la Table ronde « Référentiel commun, représentation partagée ou consensuelle : comment les repérer, comment aider à les construire ? », proposée au cours de la journée-atelier « Activités collectives et connaissances dans les organisations » de la Semaine de la Connaissance, Nantes, juin 2006.
- Animateur de l'atelier « Gestion assistée de projets d'étudiants », aux Journées Synergie INSA-UT, Troyes, 12-13 juin 2003.

9.2.3. Contrats et collaborations extérieures

- Participation au projet ANR-07-TSFA-0766C0246 *Modulobus* (2008-11), réunissant la SARL Prorentsoft, le Laboratoire ESPACE de l'Université d'Avignon et des pays du Vaucluse (UMR CNRS 6012) et le Laboratoire LIFC de l'université de Franche-Comté (FRE CNRS 2661), et dont l'objectif est le prototypage d'une nouvelle approche du transport à la demande en milieu urbain et péri-urbain.
- Co-pilotage du projet *APIC* (Agents for Product Integrated Configuration) avec Egon Ostrosi (M3M-UTBM), soutenu en 2008-09 par le conseil général de Franche-Comté.
- Co-pilotage du projet *ACCID* (Aide à la Coopération en Conception Innovante et Distribuée), avec Denis Choulier (M3M-UTBM), financé par les UT (UTBM, UTC et UTT) (septembre 2007- Août 2010).
- Pilotage du développement de la plate-forme *MO-Web*, alternative (Services Web) à la plate-forme *PLACID* (CORBA). Cette action a été financée par l'ANR (2006-07), au titre du programme 2006-CPER-Franche-Comté : "Action PRéCI via UTBM – Anticiper les besoins des PME-PMI en matière de conception et d'innovation".
- Pilotage de l'action « Etudes et développements de micro-outils de conception » dans le cadre du Plan d'action PRéCI (2004-07). Pour cette action, nous noterons plus particulièrement le développement de la plate-forme agent *PLACID* et la coordination de 4 projets de développement de micro-outils (μ -outils) : (1) *MOCEVA*, μ -outils pour l'évaluation collaborative de la performance ; (2) *MO-Maintenance* : μ -outils pour le suivi des problématiques de maintenance en conception ; (3) *MO-AFT*, atelier à base de μ -outils permettant de mener de façon non prescriptive une analyse fonctionnelle technique ; (4) *MO-TRIZ*, μ -outils pour instrumenter la méthode TRIZ (une procédure de dépôts APP - Agence pour la Protection des Programmes - est en cours).
- Participation au projet *A2P-NUM* (Architecture Process Produit dans un environnement collaboratif & NUMérique), labellisé par le pôle de compétitivité « Véhicule du futur ». Notre contribution porte sur la dimension collaborative de l'activité d'architecte Produit/Process et se concrétise avec l'encadrement de la thèse de Jing Peng, démarrée le 1/10/2007.
- Etablissement en 2006 d'une convention de coopération entre les laboratoires M3M de l'UTBM et Tech-CICO de l'UTT, concernant l'accueil de doctorants (2 co-tutelles de thèses ont déjà été réalisées) et d'étudiants en DEA – Master Recherche.
- Collaboration avec le metteur en scène Jean Lambert-Wild du Théâtre du Granit de Belfort, pour sa mise en scène d'« Orgia » de Pier Paolo Pasolini (2000). Le projet *Daedalus*, proposé pour la circonstance, en collaboration avec Abder Koukam et Vincent Hilaire du laboratoire SeT de l'UTBM, a abouti sur la conception et le développement d'un système d'agents artificiels simulant des organismes virtuels (avatars) projetés sur scène et animés par l'énergie dégagée par les comédiens équipés de capteurs (offrant une chorégraphie toujours renouvelée).

9.3. Activités pédagogiques

Principaux services d'enseignements depuis 1990 :

- 2008-10 : Responsable des formations Informatiques (Licence et titre RNCP) par alternance du CNAM de Franche-Comté (300h Cours et 125h TD par an).
- 1998-07 : Enseignant-Chercheur Contractuel à l'UTBM – Belfort (288 UTP par an)
- 1999-07 : Vacataire au CNAM de Belfort (1 à 2 UV par an, 25h Cours et 25h TD)
- 1997-98 : ATER de l'Université Rennes 1 à l'ENSSAT – Lannion (service complet)
- 1996-97 : ATER de l'Université Rennes 1 à l'IUT de Lannion (service complet)
- 1993-96 : Vacataire à l'IUT de Lannion (quota maximum de 60h TD par an)
- 1990-93 : Maître Auxiliaire en mathématiques, Rectorat de Picardie (service complet)

Liste des enseignements en Informatique :

Unités de valeur	Etabl ^{nt}	Niveau	Intervention	Période	Q ^{té} h
<i>Architecture et systèmes d'exploitation</i>	UTBM	Licence	Responsable	1999-07	648
<i>Programmation objet</i>	UTBM	Licence	TP/TD	1999-00	34
<i>Programmation logique</i>	UTBM	Licence	TP	1999-01	40
<i>Génie Logiciel</i>	UTBM	Master	Cours/TD/TP	1999-02	100
<i>Systèmes à base de connaissances</i>	UTBM	Master	Responsable	1998-07	543
<i>Interface Homme-Machine</i>	UTBM	Master	Cours/TD	1998-05	156
<i>Intelligence Artificielle pour la Production</i>	UTBM	Master	Responsable	2004-07	78
<i>Méthodes de programmation systèmes</i>	CNAM	Licence	Responsable	1999-10	250
<i>Architecture des Systèmes Informatiques</i>	CNAM	Licence	Responsable	2005-09	100
<i>Réseaux et Télécoms</i>	CNAM	Licence	Responsable	2008-10	112
<i>Conduite de Projets Informatiques</i>	CNAM	Licence	Responsable	2008-10	112
<i>Génie Logiciel</i>	CNAM	Master	Responsable	2000-08	150
<i>Systèmes et Applications Répartis</i>	CNAM	Master	Responsable	2005-10	100
<i>Architecture et urbanisation des SI</i>	CNAM	Master	Responsable	2009-10	56
<i>Intelligence artificielle</i>	ESTA	Master	Séminaire	2000-05	16
<i>KM & Innovation</i>	ECP	Master	Cours/TD	2010	6
<i>Systèmes d'exploitation, Base de données, Programmation objet et logique, IA, Algo. Distribués, Conception IHM, Réseaux</i>	ENSSAT	Master	TD/TP	1997-08	192
<i>Systèmes d'exploitation, Algorithmique, Base de données, Réseaux, Génie logiciel</i>	IUT - Lannion	Licence (L1, L2)	Cours/TD/TP	1996-07	192
<i>Systèmes d'exploitation, Langage C</i>	IUT - Lannion	Licence (L1)	TD/TP	1994-96	94

Enseignements auxquels s'ajoute le suivi d'étudiants à l'UTBM : tuteur de 70 étudiants en stage en entreprise et encadrant de 25 étudiants en projet de « Travaux de laboratoire ».

Liste des projets, responsabilités et autres activités pédagogiques :

- Pour le CNAM de Franche-Comté :
 - responsable de la filière Informatique (2005-10),
 - responsable de la Licence Informatique par alternance (2008-10),
 - responsable du titre RNCP « Concepteur-Architecte informatique » (Master 1) en alternance à Belfort (2009-10),
 - responsable du projet d'ouverture de l'option « Système d'information » du diplôme d'Ingénieur CNAM à Belfort (prévue pour 2011).
- Responsable du projet *iPédagogique* de mise en place de « Nouveaux Processus Pédagogiques » pour des UV du département Génie Informatique de l'UTBM, en réponse à un appel à projet UTBM 2000. Cet environnement pédagogique, développé pour le suivi, la gestion de projets d'étudiants, a été utilisé sur la période 2001-06.
- Responsable d'un projet de création de DU « Ingénierie des Systèmes d'Information de l'Entreprise », devant se transformer en DESS en cas de succès (2002). Celui-ci après avoir reçu un avis favorable des instances de l'UTBM (CEVU, CS et CA) n'a finalement pas pu ouvrir suite à une décroissance ponctuelle de l'effectif des enseignants. Le dossier a cependant permis au service de la Formation Continue d'étoffer son offre.
- Correspondant du service de la Formation Continue au département Génie Informatique de l'UTBM (2000-02).
- En dehors des jurys réglementaires de l'UTBM, participation aux jurys de Projet Professionnel de l'IUP Multimédia de Montbéliard – UFC (2004-06), ainsi qu'aux jurys annuels du CNAM de Franche-Comté (2000-10).

9.4. Activités administratives

- Membre élu du Conseil d'Administration de l'UTBM (2002-03).
- Membre élu du Conseil du Laboratoire M3M de l'UTBM (2006-08).
- Membre élu du Conseil du Département Génie Informatique de l'UTBM (1999-01).
- Membre du groupe de travail « Règlement des études », pour l'élaboration du contrat quadriennal 2004-07 de l'UTBM, et membre du groupe de travail « Relation industrielle », pour l'élaboration du contrat quadriennal 2008-11 de l'UTBM.

9.5. Liste de publications**Ouvrages et chapitres de livres**

- [1] Micaëlli J.-P., **Fougères A.-J.**, (2007), *L'Évaluation créative*, Presses de l'UTBM, 297p.
- [2] Weité P.-A., **Fougères A.-J.**, Gazo C., (2006), « Les micro-outils, vecteur d'appropriation des nouvelles méthodologies de conception et d'innovation », in *Evaluation et décision dans le processus de décision*, Yannou B., Bonjour E. Editors, Traité IC2, Hermes, Paris, p.135-149.
- [3] Deniaud I., Micaëlli J.-P., **Fougères A.-J.**, (2006), « Déployer une performance en conception : l'exemple de la réactivité », in *Evaluation et décision dans le processus de décision*, Yannou B., Bonjour E. Editors, Traité IC2, Hermes, Paris, p.69-81.

Revue internationale et nationales avec comité de sélection

- [XX] Ostrosi E., **Fougères A.-J.**, « Fuzzy Agents for Product Configuration in Collaborative and Distributed Design Process », *Applied Soft Computing*, (submitted 19-12-08, revised 31-07-09).

- [XX] Ostrosi E., **Fougères A.-J.**, Ferney M., Klein D., « A fuzzy configuration multi-agent approach for product family modelling in conceptual design », *Journal of Intelligent Manufacturing*, (paper presented at INCOM Moscow and selected for a special issue dedicated to the intelligent and distributed control of production system, revised manuscrit January 2010).
- [4] Peng J., **Fougères A.-J.**, Deniaud S., Ferney M., (2010), « Dynamic Shared Context Processing in an E-Collaborative Learning Environment », *Int. J. of Computer Science Issues*, 7(5): 1-9.
- [5] **Fougères A.-J.**, (2010), « Agent-Based μ -Tools Integrated into a Co-Design Platform », *Int. J. of Computer Science Issues*, 7(3-8):1-10, 31 May.
- [6] Ospina V., **Fougères A.-J.**, (2009), « Agent-based Mediation System to Facilitate Cooperation in Distributed Design », *WSEAS Transactions on Computers*, 6(8): 937-948.
- [7] Ospina V., **Fougères A.-J.**, (2009), « Aide à la conception collaborative : un système de médiation pour l'usage de micro-outils logiciels », *In Cognito – Cahiers Romains de Sciences Cognitives*, 3(3): 89-122.
- [8] Ospina V., **Fougères A.-J.**, (2008), « A Mediation system to facilitate cooperative activities », *NAUN International Journal of Computers*, 2(4): 391-400.
- [9] **Fougères A.-J.**, Canalda P., Ospina V., (2007), « Assistance à la gestion et au suivi de projets d'étudiants dans un environnement d'apprentissage coopératif », *e-TI - la revue électronique des Technologies de l'Information*, n°3.
- [10] Ospina V., **Fougères A.-J.**, Zacklad M., (2005), « Modélisation de connaissances pour un système de médiation », Actes des cinquièmes journées Extraction et Gestion des Connaissances, Paris, France, 18-21 janvier 2005, 2 Volumes. *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information (RNTI-E-3)*, Cépaduès-Éditions, p. 575-586.
- [11] **Fougères A.-J.**, (2003), « Des agents communicants pour simuler et détecter des épidémies », *Ingénierie des Systèmes d'Information*, Hermès, 8(1): 91-112.
- [12] **Fougères A.-J.**, (2001), « Un système tutoriel intelligent adapté à la formation de régulateurs de trafic », *Sciences et techniques éducatives*, Hermès, 8(1-2): 141-147.
- [13] **Fougères A.-J.**, Trigano P., (1999), « Construction de spécifications formelles à partir des spécifications rédigées en langage naturel », *Document Numérique*, Hermès, 3(3-4): 215-239.
- [14] **Fougères A.-J.**, Trigano P., (1997), « Rédaction de spécifications formelles : élaboration à partir des spécifications écrites en langage naturel », *In Cognito – Cahiers Romains de Sciences Cognitives*, 1(8): 29-36.

Conférences internationales et nationales avec comité de sélection

- [15] Peng J., **Fougères A.-J.**, Deniaud S., Ferney M., (2010), « An E-Collaborative Learning Environment Based on Dynamic Workflow System », *Proceedings of the 9th Int. Conf. on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, pp.236-240, 29th April-1st May, Cappadocia, Turkey.
- [16] Ostrosi E, **Fougères A.-J.**, Ferney M., Klein D., (2009), « Distributed Fuzzy Product Configuration Using a Multi-Agent Approach », *Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, (INCOM '09), Moscow, Russia, June 3-5.
- [17] Chambon T., Choulier D., **Fougères A.-J.**, Weite P.-A., (2009), « Instrumentation de l'utilisation d'un outil méthodologique : application aux '9 écrans' de la méthode TRIZ », *Actes du 11^{ème} Colloque National AIP-PRIMECA*, La Plagne, 22-24 avril.
- [18] Ospina V.E., **Fougères A.-J.**, (2008), « Mediation system for cooperative activities: knowledge system design », *Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Data Networks, Communications, Computers*, (DNCOCO'08), pp. 75-78, Bucharest, Romania, November 7-9.
- [19] Ostrosi E, **Fougères A.-J.**, Ferney M., (2008), « Fuzzy agents to assist collaborative and distributed design for product configuration », *Proceedings of the 5th International Conference on Digital Enterprise Technology*, (DET'2008), Publibook Ed., pp. 75-92, Nantes, October 22-24.

- [20] Ospina V.E., **Fougères A.-J.**, (2007), « The mediator: an artificial actor integrated in a cooperative design system », *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Computational Cybernetics*, (ICCC'2007), pp. 151-159, Gammarth, Tunisia, October 19-21.
- [21] Deciu E.R., Ostrosi E., **Fougères A.-J.**, Ferney M., Gheorghe M., (2006), « Collaborative and distributed design for product configuration with assisting agents », *Proceedings of Virtual Concept 2006*, Springer Verlag, Playa Del Carmen, Mexico, November 26th-December 1st.
- [22] **Fougères A.-J.**, Ostrosi E., Movahed-Khah R., Ferney M., (2006), « An intelligent system for the interactions analysis in a collaborative design process », *Proceedings of Virtual Concept 2006*, Springer Verlag, Playa Del Carmen, Mexico, November 26th-December 1st.
- [23] **Fougères A.-J.**, (2006), « Assistance to agent-based μ -tools development for a co-operative design platform », *Proceedings of Virtual Concept 2006*, Springer Verlag, Playa Del Carmen, Mexico, November 26th-December 1st.
- [24] **Fougères A.-J.**, Micaëlli J.-P., (2006), « De l'activité collaborative aux micro-outils : illustration avec PLACID, une plate-forme agent », in *Actes de la Conférence nationale Coopération Innovation et Technologies*, (CITE'06), Vol.2, pp. 107-116, Nantes, 26-28 juin.
- [25] Ospina V., **Fougères A.-J.**, (2005), « Knowledge modelling for Mediation system based on co-operative task: an e-learning application », *ITI 3rd International Conference on Information and Communication Technology*, (ICICT'05), pp. 391-404, Cairo, Egypt, December 5-6.
- [26] **Fougères A.-J.**, (2005), « Agent-based micro-tools development for a co-operative design platform », *ITI 3rd International Conference on Information and Communication Technology*, (ICICT'05), pp. 715-730, Cairo, Egypt, December 5-6.
- [27] **Fougères A.-J.**, Ospina V.E., (2004), « Gestion et suivi de projets d'étudiants. Vers un système de médiation », in *Actes du Colloque International sur les Techniques de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie*, (TICE'04), pp. 156-163, Compiègne, 20-22 octobre.
- [28] **Fougères A.-J.**, (2004), « Agents to cooperate in distributed design process », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, (SMC'04), pp. 2629-2634, The Hague, Netherlands, Oct. 10-13.
- [29] **Fougères A.-J.**, (2004), « Du langage naturel à la spécification - Application à la spécification de services de télécommunication », *Proceedings of the Int. Conference on Electronic Sciences, Information Technology and Telecommunication*, (SETIT'04), Sousse, Tunisie, 15-20 mars.
- [30] **Fougères A.-J.**, Recchione M., Gomez Y., (2004), « PLACID : une Plateforme pour Coopérer en Conception Distribuée », *Proceedings of the International Conference on Electronic Sciences, Information Technology and Telecommunication*, (SETIT'04), Sousse, Tunisie, 15-20 mars.
- [31] Ospina V., **Fougères A.-J.**, (2003), « Un système d'assistance dans un environnement coopératif d'apprentissage », in *Actes de la Conférence nationale Coopération Innovation et Technologies*, (CITE'03), pp.235-246, Troyes, 3-4 décembre.
- [32] **Fougères A.-J.**, (2003), « Une architecture cognitive d'agents communicants dans des systèmes d'information complexes », in *Actes des Secondes Journées Francophones Modèles Formels de l'Interaction*, (MFI'03), Cepaduès-Éditions, pp. 255-260, Lille, 20-22 mai.
- [33] **Fougères A.-J.**, (2003), « Modèle de communication pour des agents d'assistance dans les systèmes complexes », *Proceedings of the International Conference on Electronic Sciences, Information Technology and Telecommunication*, (SETIT'03), Sousse, Tunisie, 17-21 mars.
- [34] Canalda P., Chatonnay P., **Fougères A.-J.**, (2002), « Pédagogie de projets tutorés basée sur la synchronisation de fragments de procédés coopératifs : motivation, modélisation et expérimentation », *Proceedings of the Workshop ARIADNE*, Lyon, 13-15 novembre.
- [35] **Fougères A.-J.**, Canalda P., (2002), « iPédagogique : un environnement intégrant la gestion assistée de projets d'étudiants », in *Actes du Colloque Int. sur les Techniques de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie* (TICE'02), Lyon, 13-15 novembre.

- [36] **Fougères A.-J.**, (2002), « Model of cognitive agents to simulate complex information systems », *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, (SMC'02), Hammamet, Tunisia, October 6-9.
- [37] **Fougères A.-J.**, Mazigh B., Koukam A., Fanjul R.H., (2000), « Modeling of productive organizations with multi-agent systems », *Proceedings of the Workshop on Agent-Based Simulation*, (ABS'2000), pp. 87-92, Passau, Germany, May 2-3.
- [38] **Fougères A.-J.**, (1999), « Formal specifications building from specifications written in natural language », *Proceedings of the European Conference on Human Centered Processes*, (HCP'99), P. Lenca (Ed.), pp. 225-232, Brest, September 22-24.
- [39] **Fougères A.-J.**, (1997), « Formalisation de spécifications à partir des spécifications écrites en langage naturel », in *Actes des Journées Francophones Sciences de la Cognition vers les Applications*, (JFSCA'97), Lille, 2-3 juillet.
- [40] **Fougères A.-J.**, Trigano P., (1996), « The formalisation of specifications from specifications written in natural language », *Proceedings of the Eighth Int. Conf. on Artificial Intelligence Applications*, (Expersys'96), J. Zarka (Ed.), Technology Series of IITT, pp. 369-374, Paris-Marne La Vallée, October 21-22.

Autres communications

- [41] **Fougères A.-J.**, (2006), « Les micro-outils pour assister la conception collaborative », table ronde « Référentiel commun, représentation partagée ou consensuelle : comment les repérer, comment aider à les construire ? » organisée dans le cadre de la journée *Activité collective et connaissances dans les organisations*, (CoAct), Nantes le 26 juin, <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00322770/fr/>.
- [42] **Fougères A.-J.**, (2006), « Développement de μ -outils », Conférence *ASMDO'06*, Poster, UTBM, Sévenans, 23-24 mai.
- [43] **Fougères A.-J.**, (2006), « Les μ -outils, instruments des nouvelles méthodologies de conception et d'innovation », *Détours n°81*, p. 6, UTBM, 9 mars.
- [44] **Fougères A.-J.**, Ospina V., (2005), « Médiation et connaissances coopératives dans un EIAH », Atelier « Extraction et Gestion de Connaissances dans les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage », (EGC'05), Paris, 18 janvier.
- [45] Canalda P., **Fougères A.-J.**, (2002), « Procédés coopératifs pour la gestion de projets tutorés : modélisation et expérimentation », *Actes de la Journée ApprenTICE 2002*, Besançon, 12 mars.
- [46] **Fougères A.-J.**, (2002), « Modèle d'agents pour simuler et détecter des épidémies », Poster, in *Actes des 13^{èmes} Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances*, (IC'02), Rouen.
- [47] **Fougères A.-J.**, (2002), « Des agents pour simuler et détecter des épidémies », Dossier « IA et Médecine », *Bulletin de l'AFIA n°48*, janvier.
- [48] **Fougères A.-J.**, Canalda P., (2002), « iPédagogique : un support adapté à la gestion de projets d'étudiants », in *Actes du Colloque Apprendre avec l'Ordinateur à l'Ecole*, (CAOE'02), 14-16 janvier.
- [49] **Fougères A.-J.**, (2001), « Construction de la base de connaissances d'un système tutoriel intelligent pour la formation de régulateurs de trafic », Poster, (EGC'01), Nantes. *Extraction des Connaissances et Apprentissage*, Hermes Science Publications, 1(1-2) : 367.
- [50] **Fougères A.-J.**, (2000), « Un système tutoriel intelligent pour la formation des régulateurs de trafic d'une compagnie de transport en commun », in *Actes du Colloque Multimodalité. 10 ans*, Grenoble, 9-10 mai.
- [51] **Fougères A.-J.**, (1996), « Aide à la rédaction de spécifications formelles », *Troisièmes Rencontres nationales des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle*, (RJCIA'96), Poster, Nantes, 28-31 août.
- [52] **Fougères A.-J.**, (1996), « Aide à la rédaction de spécifications formelles pour les services de France Télécom », *Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives (CJCSC'96)*, Poster, Presqu'île de Giens, 5-7 juin.

Rapports de recherche

- [53] **Fougères A.-J.**, Canalda P., Spies F., (2010), « Prototypage d'une nouvelle approche du transport à la demande en milieu urbain et périurbain : le concept de Modulobus », Rapport d'avancement de projet ANR, LIFC, RT/2010-01, février 2010.
- [54] **Fougères A.-J.**, (2007), « Projet Micro-Outils. Méthodologie d'identification et de développement de μ -outils de conception coopérative », Rapport de fin de projet ANR, UTBM, RT/MO/1.02.
- [55] Bonjour É., Dulmet M., Harmel G., Lhote F., Kroichvili N., Micaëlli J.-P., Picard F., Deniaud S., **Fougères A.-J.**, (2006), « Activités et compétences. Phase d'extension et d'application (DPMO) », Rapport de synthèse, LAB Besançon – PSA Peugeot Citroën.
- [56] **Fougères A.-J.**, (2005), « Projet PLACID. Spécifications IHM, Plate-forme et μ -outils de test », Rapport d'avancement de projet, UTBM, RA/PLACID/1.02.
- [57] **Fougères A.-J.**, (2005), « Projet MO : recherche et développement sur les Micro-Outils », Rapport d'avancement de projet au Pôle Régional de Conception et d'Innovation (PRéCI), RA_MO_PRéCI_13_06_05.
- [58] **Fougères A.-J.**, (2003), « Projet PLACID. Spécifications IHM et Plateforme », Rapport d'avancement de projet, UTBM, RA/PLACID/1.01.
- [59] **Fougères A.-J.**, (2002), « Formation des régulateurs de la CTPM : IHM et recueil d'expertise », Rapport d'avancement de projet, UTBM, RT/FR_CTPM/1.02.
- [60] **Fougères A.-J.**, Canalda P., Voeckler O., Taberlet M., (2001), « iPédagogique : un environnement d'apprentissage interactif pour un groupement d'UV et pour la gestion assistée de projets d'étudiants », Rapport d'avancement de projet, UTBM, RT/iPédagogique/1.01.